

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

До захисту допущено:

В.о.завідувача кафедри

_____ Олександр ОХРІМЕНКО

« ____ » _____ 2020р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи та
технології формоутворення деталей»**

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Довбач спеціальний косозубий для зуботочіння»

Виконав:

студент III курсу, групи МІ-п71

Дубицький Михайло Євгенович

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Слободянюк Іванна Валентинівна

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4		Технічне завдання	2	
3	A4	ДП МІ-п7104.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	94	
4	A1	ДП МІ-п7104. 01.000 ТК	Аналіз конструкцій довбачів для зуботочіння	1	
5	A1	ДП МІ-п7104. 02.000 ТК	Робоче креслення косозубого довбача для зуботочіння	1	
6	A1	ДП МІ-п7104. 03.000 ТК	Графічне зображення технологічного процесу	4	
7	A1	ДП МІ-п7104. 04.000 ТК	Пристосування для заточування передньої поверхні довбача	1	
8	A1	ДП МІ-п7104. 05.000 ТК	Керуюча програма для верстату з ЧПК	2	
9	A1	ДП МІ-п7104. 06.000 ТК	Поновлення працездатності різального інструменту	1	
10	A1	ДП МІ-п7107. 7.000 ТК	Етапи створення 3Д моделі	1	

				ДП МІ-п7104 00.000.00		
	ПІБ	Підп	Дата			
Розробн.	Дубицький М.Є.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Слободянюк І.В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КМ Гр. МІ-п71	
Н/контр.	Адаменко Ю.І.					
Зав.каф.	Охріменко О.А.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Довбач спеціальний косозубий для
зуботочіння»**

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи та технології формоутворення деталей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Олександр ОХРИМЕНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Дубицький Михайло Євгенович

1. Тема проєкту «Довбач спеціальний косозубий для зуботочіння», керівник проєкту Слободянюк Іванна Валентинівна, доцент, к.т.н, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1120-с

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту:

- оброблювана поверхня: матеріал – Сталь 65Г; модуль 2.5, кількість зубів 92

- інструмент: довбач спеціальний косозубий для зуботочіння;

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз конструкцій довбачів для зуботочіння, розробка конструкції довбача для зуботочіння, технологічна частина, конструкторська складова, поновлення працездатності різального інструменту.

5. Перелік графічного матеріалу: аналіз конструкцій довбачів для зуботочіння, етапи побудови 3Д моделі інструмента, робоче креслення косозубого довбача для зуботочіння, графічне зображення технологічного процесу, пристосування для заточування передньої поверхні довбача, керуюча програма для верстату з ЧПК, поновлення працездатності різального інструменту.

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Проведення аналізу конструкцій	18.04.2020	
2	Розробка конструкції	25.04.2020	
3	Етапи побудови 3Д моделі	6.05.2020	
4	Технологічна частина	20.05.2020	
5	Графічне зображення технологічного процесу	25.05.2020	
6	Конструкторська складова	28.05.2020	
7	Пристосування для заточування передньої поверхні	31.05.2020	
8	Створення керуючої програми на ЧПК	03.06.2020	
9	Поновлення працездатності РІ	06.06.2020	
10	Оформлення пояснювальної записки та креслень	09.06.2020	

Студент

Михайло ДУБИЦЬКИЙ

Керівник

Іванна СЛОБОДЯНЮК

Затверджую
Охріменко О.А.
Від «__» _____ 2020р.

Технічне завдання до проекту	
Тема проекту	Довбач спеціальний косозубий для зуботочіння
Зміст проекту	Розробити довбач для зуботочіння зубчатого колеса $z=92$, $m=2,5$
Технічні умови до проекту	<ol style="list-style-type: none">1. Матеріал деталі сталь 65Г2. Кількість зубів $z=92$3. Модуль $m=2,5$4. Головні вимоги до довбача:<ul style="list-style-type: none">• Посадковий діаметр $\varnothing 44.443$• Номінальний ділильний діаметр $\varnothing 100$• Товщина довбача $B=20$ мм• Клас точності довбача А5. Кріплення на оправці
Особливі вимоги	

ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	Огляд конструкцій
ОП	1. 3Д модель довбача 2. Етапи побудови 3Д моделі довбача 3. Робоче креслення довбача
СС	Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК на токарну обробку довбача
КС	Складальне креслення пристосування для заточування передньої поверхні
ТС	Ескізи технологічних операцій: <ul style="list-style-type: none"> • 015 довбальна • 025 фрезерна • 050 хонінгувальна • 060 шліфувальна
ДС	Поновлення працездатності
Студент Дубицький М.Є. _____ дата «__»____2020р. Викладач Слободянюк І.В. _____ дата «__»____2020р.	

Прийняті позначення: СП – стан питання. КС – конструкторська складова. ОП – об’єкт проектування. СС – спеціальна складова. ТС – технологічна складова. ДС – дослідницька складова.

АНОТАЦІЯ

Метою дипломного проекту є розроблення косозубого довбача для зуботочіння прямозубих зубчатих коліс. В дипломі була спроектована конструкція інструменту, яка б забезпечила необхідні параметри оброблюваного зубчатого колеса. Був проведений аналіз конструкцій, виконані необхідні проектні розрахунки, створена 3-D модель інструменту, розроблений технологічний процес, спроектовано пристосування для заточування передньої поверхні, розроблена керуюча програма для верстата з ЧПК, визначені режими різання при роботі інструменту, та визначена стійкість при даних режимах.

Ключові слова: довбач, косозубий довбач, зуботочіння, обробка зубчатих коліс, період стійкості при зуботочінні, верстат з ЧПУ.

ANNOTATION

The purpose of the diploma project is to develop the design of a helical power skiving cutter for machining spur involute gears. In the diploma the design of the tool which would provide necessary parameters of the processed gear wheel was designed. The analysis of designs was carried out, necessary design calculations were executed, a 3-D model of the tool was created, a technological process was developed.

Keywords: gear skiving cutter, helical gear skiving cutter, power skiving, involute machining, tool durability during gear skiving, CNC machine.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Аналіз конструкцій	10
1.1. Сутність процесу зуботочіння.....	10
1.2. Типи конструкцій	11
1.3. Опис конструкції та вибір оптимальних геометричних параметрів ...	13
1.4. Вибір конструкції довбача для зуботочіння	15
2. Розробка конструкції довбача для зуботочіння.....	16
2.1. Розрахунок косозубого довбача для зуботочіння конструктивних параметрів та профілювання довбача	16
2.2. Вибір та обґрунтування інструментального матеріалу	25
2.3. Етапи створення 3Д моделі в середовищі Autodesk Inventor 2020.....	27
3. Технологічна частина	32
3.1. Вибір заготовки для довбача	32
3.2. Технологічний процес виготовлення довбача	32
3.3. Розрахунок припусків на механічну обробку.....	38
3.4. Розрахунок режимів різання.....	42
4. Конструкторська складова.....	45
4.1. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки	45
4.2. Принцип роботи пристосування	47
5. Розробка керуючої програми на верстат з ЧПК	49
5.1. Характеристики обладнання	49
5.2. Створення керуючої програми на верстат з ЧПК	51
6. Поновлення працездатності різального інструменту.....	57
6.1. Характер зношення косозубих довбачів для зуботочіння.....	57

6.2. Розрахунок режимів різання та стійкості інструменту при даних режимах різання	58
Список літератури	63
Додатки.....	66

ВСТУП

В сучасному машинобудуванні особливо широке використання отримали зубчаті передачі. Особливо актуально стоїть питання виготовлення зубчатих коліс.

Одним із найбільш актуальних способів виготовлення зубчатих коліс є зуботочіння. Цей метод обробки дозволяє виготовляти зубчаті колеса на верстаті з ЧПК, без використання спеціалізованого обладнання. Також цей спосіб дозволяє оброблювати як внутрішні так і зовнішні зубчаті вінці.

Обробка зубчатих коліс методом зуботочіння забезпечує більшу продуктивність ніж зубофрезерування та зубодовбання.

Метою даної роботи було проектування цільного косозубого довбача для зуботочіння прямозубих вінців.

Для вирішення даного завдання було: проаналізовано конструкції інструментів для обробки зубчатих коліс, була розроблена конструкція косозубого довбача для зуботочіння, був розроблений технологічний процес виготовлення інструменту, було спроектовано пристосування для заточування передньої поверхні інструменту.

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗУБОТОЧІННЯ

Обкатане зуботочіння - метод безперервного нарізування зубів циліндричних коліс - відомий вже більше 100 років. Він базується на комбінації рухів, характерних для обкатних процесів зубофрезерування і зубодовбання, і дозволяє виготовляти циліндричні зубчасті колеса із зовнішнім і внутрішнім зачепленням. При цьому найбільш часто обкатане зуботочіння застосовують для обробки зубчастих коліс внутрішнього зачеплення [1].

В основу обкатаного зуботочіння покладена гвинтова зубчаста передача, яку утворює зубчасте колесо 1 і інструмент 2 в формі зубчастого довбача (Рис. 1.1). Завдяки кутам нахилу колеса β_2 і довбача β_0 утворюється кут схрещування осей $\Sigma = \beta_2 + \beta_0$. При обробці циліндричних зубчастих коліс з внутрішнім зачепленням $\Sigma = \pm 25 \dots 35^\circ$ [1].

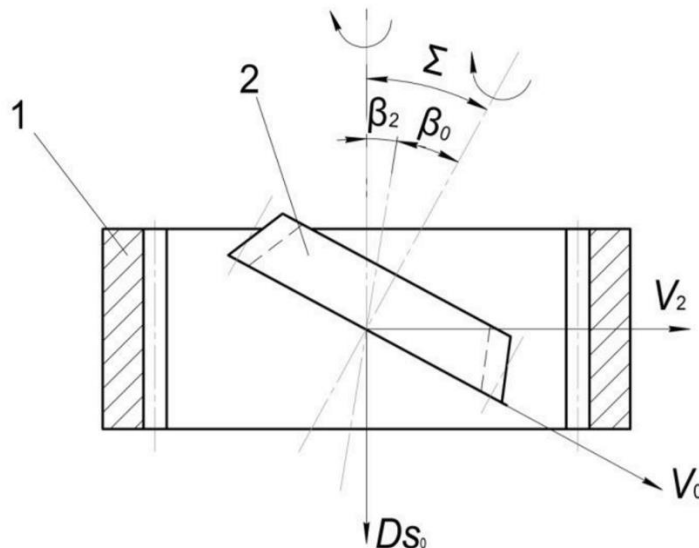


Рисунок 1.1 Схема обкатного зуботочіння

У процесі різання при взаємній круговому русі інструменту V_0 і заготовки V_2 , а також під дією осевого руху подачі інструменту Ds_0 кожна різальна кромка довбача контактує з бічними поверхнями зубів в різних точках по висоті і довжині. Так як контакт інструменту і заготовки носить

короткочасний характер, то процес різання проходить з низьким теплоутворенням навіть при високих кутових швидкостях [1].

При зуботочінні передній кут може змінюватися на вхідній та вихідній стороні зуба довбача від 0 до -50° , що призводить до збільшення складових сили різання і вимагає великих задніх кутів по вершині і по бічній різальній кромці ($\alpha_6 = 12 \dots 15^\circ$), а також спеціальної заточки інструменту [1].

Головним недоліком використовуваних дотепер інструментів (довбачів циліндричної і конічної форми) є невеликий кут при вершині. Чим менше кут при вершині зубів довбача, тим вище термічне навантаження на різальну кромку і нижче термін служби інструменту. Як правило, критерієм зносу таких інструментів є знос по задній поверхні і рідше тріщини на поверхні зубів, перпендикулярні різальній кромці [1].

При зуботочінні інструментами з швидкорізальної сталі сталевих заготовок швидкість різання 20 ... 40 м/хв при числі оборотів інструментального шпинделя до 200 об/хв і осьовій подачі 0,5 ... 2,0 мм на оберт довбача забезпечують більш високу продуктивність у порівнянні з зубофрезеруванням і зубодовбанням [1].

Для технології обкатаного зуботочіння необхідні надзвичайно точні комбінації рухів одночасно по декількох осях, тому потрібні верстати з високодинамічними приводами прямої дії, термічною стабільністю, а також статичною та динамічною жорсткістю. Хорошим рішенням для обкатаного зуботочіння є верстат з вертикальним розташуванням шпинделя заготовки. Він забезпечує хороший відвід великого обсягу стружки із зони різання і дозволяє виконувати зуботочіння без подачі МОР зі швидкістю різання 150 ... 250 м/хв при частоті обертання інструментального шпинделя до 2000 хв⁻¹ [1]

1.2. Типи конструкцій

Спеціальні довбачі для зуботочіння можуть використовуватися для обробки зубів циліндричних прямозубих та з косими зубами зубчатих коліс зовнішнього та внутрішнього зачеплення, а також для обробки зубів валів та

отворів шліцьових з'єднань. За конструктивним оформленням кріпильної частини довбачі можуть бути: хвостовими (Рис. 1.2 а) та з кріпленням на оправці (Рис. 1.2 , б).



Рисунок 1.2 Типи довбачів за формою кріпильної частини [2]

За типом конструкції довбачі для зуботочіння бувають цільні та збірні.

Цільні довбачі (Рис. 1.3) складніше у виготовленні і виконуються цілком з швидкорізальної сталі або твердого сплаву, в той час, як у збірних корпус виконується з конструкційної сталі [3].



Рисунок 1.3 Цільний довбач для зуботочіння [4]

Збірні довбачі (Рис 1.4) для зуботочіння в основному використовують для чорнових робіт та великогабаритних інструментів (з зовнішнім діаметром до 500 мм та модулем зуба до 9 мм [5].



Рисунок 1.4 Збірний довбач для зуботочіння зі змінними твердосплавними пластинами [5]

1.3. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

По конструкції довбачі для зуботочіння мало відрізняються від довбачів для зубодовбання. Основною відмінністю є те що для отримання прямозубого зубчастого колеса ми повинні мати косозубий довбач (Рис. 1.5).



Рисунок 1.5 Косозубий довбач для зуботочіння

У косозубих довбачів для зуботочіння передня поверхня кожного зуба представляє собою площину загального положення яка повернута на два кути: кут нахилу зуба інструмента, приймають в діапазоні $20^{\circ} \dots 60^{\circ}$ для прямозубого колеса, та в діапазоні $\beta \dots 60^{\circ}$ для косозубого колеса [6] (у випадку прямозубого колеса цей кут дорівнює куту перехрещення осей довбача і заготовки), та

передній кут приймають 5° для чистових довбачів та 10° для чорнових. (Рис. 1.6)

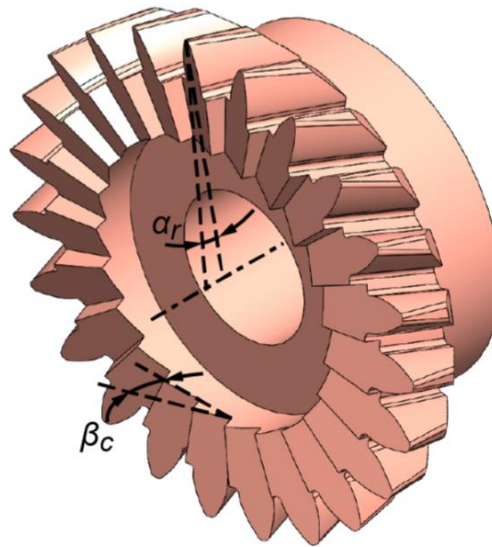


Рисунок 1.6 Кути передньої поверхні довбача для зуботочіння [7]

Задня поверхня довбача для зуботочіння є аналогічною до довбачів для зубодовбання. Вона має два кути: задній кут при вершині приймається в діапазоні $3^\circ \dots 20^\circ$ (α_t) та бічні задні кути (α_s), величина бічного заднього кута залежить від величини заднього кута при вершині. (Рис. 1.7)

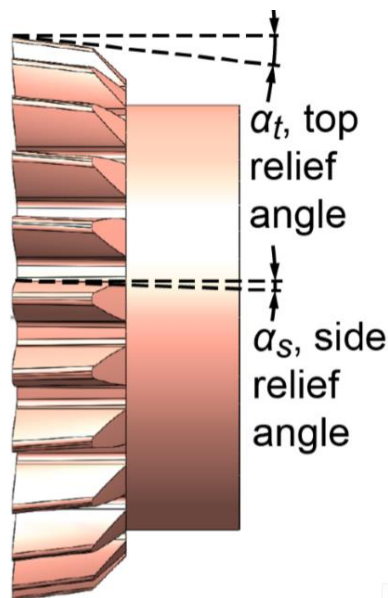


Рисунок 1.7 Кути задньої поверхні для зуботочіння [7]

Але можливий варіант коли інструментальні задні кути відсутні, тоді дійсні задні кути отримуються за допомогою додаткового повороту інструменту відносно заготовки.

1.4. ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ ДОВБАЧА ДЛЯ ЗУБОТОЧІННЯ

Виконавши аналіз конструкцій довбачів для зуботочіння можна виконати проектування згідно попередньо заданих умов обробки.

Проаналізувавши можливі конструкції довбачів для зуботочіння приймаємо що раціонально для оброблення прямозубого колеса з кількістю зубів $z=92$ та модулем $m=2.5$ мм використовувати цільний довбач на оправці, це дає змогу отримати більшу точність (у порівнянні зі збірними довбачами), та більшу продуктивність за рахунок більшої кількості зубів (у порівнянні із хвостовим довбачем).

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДОВБАЧА ДЛЯ ЗУБОТОЧІННЯ

2.1. РОЗРАХУНОК КОСОЗУБОГО ДОВБАЧА ДЛЯ ЗУБОТОЧІННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПРОФІЛЮВАННЯ ДОВБАЧА

Спочатку визначимо положення основного перетину довбача. За формулою (2.1) [8]:

$$a = a' * \cos \beta_{\text{и}} \quad (2.1)$$

Де: a' - величина зміщення основного перетину вздовж зуба довбача, яка приймається рівною величині зміщення для прямозубих довбачів;

$\beta_{\text{и}}$ – кут нахилу зуба довбача.

Визначимо a' за формулою (2.2) показаною в [9]:

$$a' = \frac{\xi_{\text{max}} m}{\tan \alpha_{\text{в}}} \quad (2.2)$$

Де: ξ_{max} - найбільший допустимий коефіцієнт зміщення;

m – модуль зубчастого зачеплення;

$\alpha_{\text{в}}$ – задній кут при вершині.

Спочатку визначаємо найменшу величину товщини зубця на колі виступів за формулою (2.3):

$$S'_e = k_s m \quad (2.3)$$

Де: k_s - коефіцієнт товщини зуба;

Коефіцієнт товщини зуба можливо вибрати за Таблиця 2.1:

Таблиця 2.1 Значення коефіцієнтів товщини зуба

Модуль, мм	k_s
1...1,5	0,46...0,41
1,75...2,75	0,40...0,31
3,00...4,0	0,30...0,25
4,25...6,0	0,25...0,20
6,5...8,0	0,20...0,10

Або розрахувати за формулою (2.4):

$$k_s = 0.53e^{-0.17m} \quad (2.4)$$

$$k_s = 0.53e^{-0.17*2,5} = 0.346$$

Для заданого модуля $m=2,5$ приймаємо коефіцієнт товщини зуба $k_s=0,35$.
Отже найменша товщина S'_e зуба довбача на колі виступів дорівнює:

$$S'_e = 0,35 * 2,5 = 0.875$$

Найбільший допустимий коефіцієнт зміщення ξ_{\max} визначаємо за графіком (Рис. 2.1) у такій послідовності:

Задаємось величиною головки зуба за формулою:

$$h = 1.25m = 1.25 * 2.5 = 3,125 \text{ мм}$$

За графіком знаходимо, що для $k_s=0,35$ та кількості зубів довбача $z_n=37$ найбільший допустимий коефіцієнт зміщення дорівнює $\xi_{\max}=0,5$. Отже:

$$a' = \frac{0,5 * 2,5}{\tan 9^\circ} = 7.892 \text{ мм}$$

Приймаємо $a'=7.8$ мм

$$a = 7.8 * \cos 23^\circ = 7.18 \text{ мм}$$

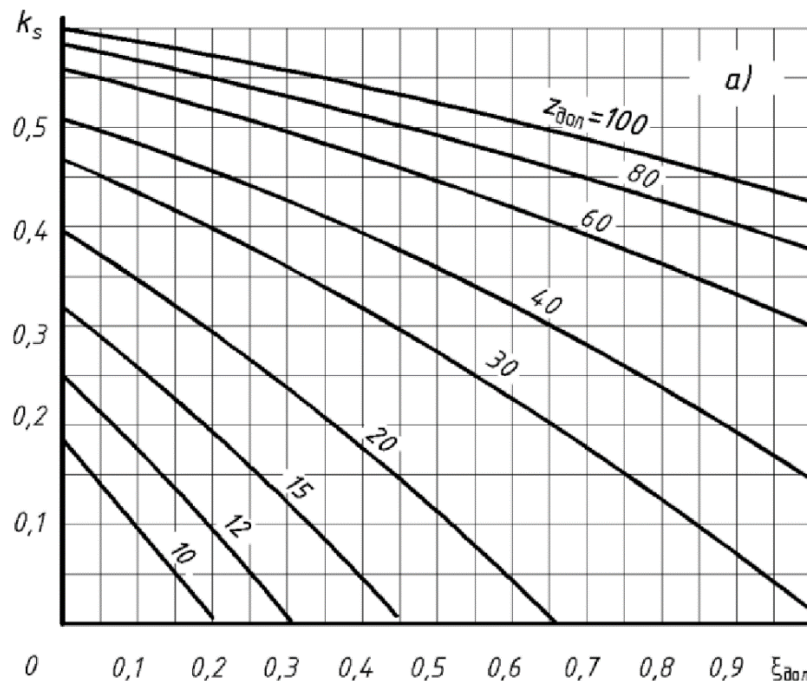


Рисунок 2.1 Найбільший допустимий коефіцієнт зміщення ξ_{\max} , для висоти головки зуба довбача $1,25 m$ [9]

Визначимо профіль довбача в основному перетині за методикою з [10]

Спочатку задаємось параметрами оброблюваного зубчатого колеса, а саме: напрям та кут нахилу зуба β (для прямозубого колеса $\beta=0$), модуль $m=2,5$

мм, число зубів $z_k=92$, коефіцієнт корекції $\xi_1=0$, кут зачеплення $\alpha=20^\circ$, радіус кола впадин $r_i=111.875$ мм, радіус кола виступів $r_e=117.5$ мм.

Далі обираємо вихідні параметри інструменту: напрямок зубів інструменту потрібно обирати таким самим як і напрямок зубів колеса що оброблюється, кут нахилу зубів інструмента $\beta_n=23^\circ$, кількість зубів інструмента $z_n=37$ (кількість зубів інструменту повинна бути якомога більшою до максимальної величини виходячи з розмірів посадочного місця на верстаті [10]), коефіцієнт корекції інструменту $\xi_2=0$ (в основному перетині), тип загострення (обираємо тип загострення II) та задній кут при вершині $\alpha_v=9^\circ$.

Типи загострення довбачів для зуботочіння:

- При першому типі загострення різальна кромка лежить в площині перпендикулярній до його вісі [10]. (Рис. 2.2)

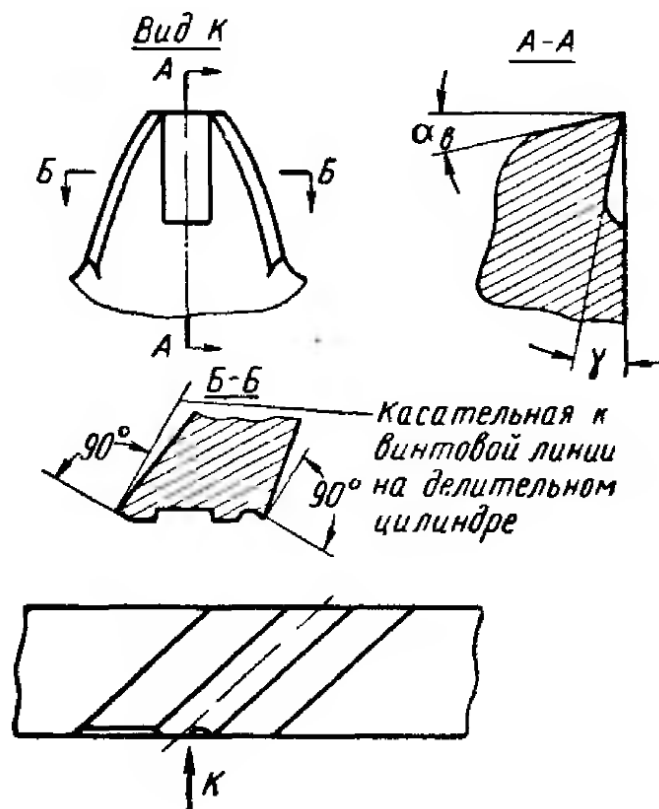


Рисунок 2.2 I-й варіант загострення довбачів для зуботочіння [10]

- При другому варіанті загострення різальна кромка лежить в площині, перпендикулярній до напрямку зуба, на початковому циліндрі [10]. (Рис. 2.3)

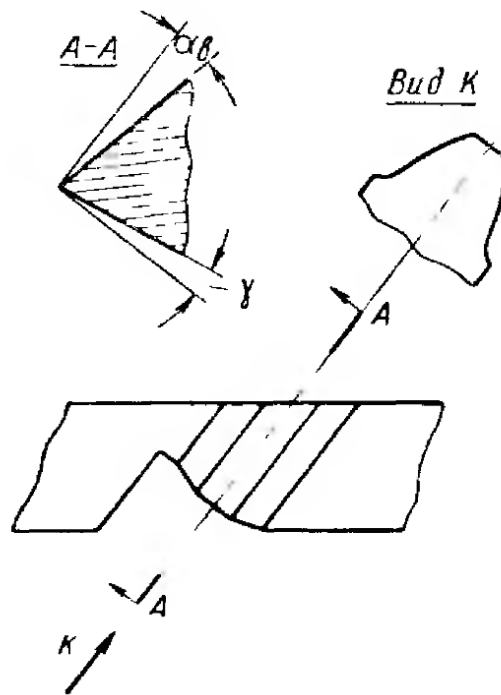


Рисунок 2.3 II-й варіант загострення довбачів для зуботочіння [10]

Далі виконуємо розрахунок постійних величин:

Сумарний коефіцієнт корекції ξ визначаємо за формулою (2.5):

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = 0 + 0 = 0 \quad (2.5)$$

Передаточне відношення i визначаємо по формулі (2.6):

$$i = \frac{z_k}{z_n} = \frac{92}{37} = 2.486 \quad (2.6)$$

Відстань між осями інструмента та виробу A визначаємо по формулі (2.7):

$$\begin{aligned} A &= m \left(\frac{z_k}{2} + \frac{z_n}{2 * \cos(\beta_n)} + \xi \right) = \\ &= 2.5 * \left(\frac{92}{2} + \frac{37}{2 * \cos(23^\circ)} + \xi \right) = 165.244 \text{ мм} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Радіус основного кола r_0 визначаємо по формулі (2.8):

$$r_0 = \frac{m z_k}{2} * \cos(\alpha) = \frac{2.5 * 92}{2} * \cos(20^\circ) = 108.065 \text{ мм} \quad (2.8)$$

Кут перехрещення осей ϑ визначаємо по формулі (2.9):

$$\vartheta = \beta + \beta_n = 0 + 23^\circ = 23^\circ \quad (2.9)$$

Постійна величина K визначається по формулі (2.10):

$$K = \frac{(1 + i * \cos(\vartheta)) * r_o}{i * A * \cos(\vartheta) * \cos(\alpha)} = \quad (2.10)$$

$$= \frac{(1 + 2.486 * \cos(23^\circ)) * 109.371}{2.486 * 165.244 * \cos(23^\circ) * \cos(20^\circ)} = 1$$

Постійний кут σ_0 визначається по формулі (2.11):

$$\sigma_0 = \frac{\pi}{2 * z_k} - \text{inv}(\alpha) = \frac{\pi}{2 * 92} - \text{inv}(20^\circ) = 0.124^\circ \quad (2.11)$$

Зовнішній радіус інструменту r_{en} в основному перетині визначимо по формулі (2.12):

$$r_{\text{en}} = A - r_i = 165.244 - 111.875 = 53.369 \text{ мм} \quad (2.12)$$

Далі задаємося значеннями кутів тиску α_x від мінімуму (0°) до максимуму (45°)

Кут тиску α_x – це кут між радіусом-вектором і дотичною до профілю виробу в перерізі перпендикулярному до вісі в даній точці (Рис. 2.4)

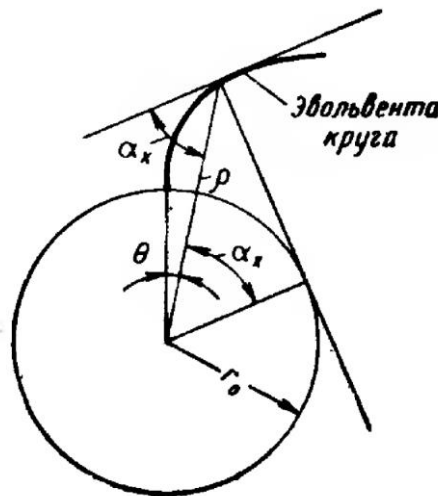


Рисунок 2.4 Кут тиску [10]

Далі визначаємо відповідні цим кутам радіуси точок виробу профілю по формулі (2.13):

$$\rho_i = \frac{r_o}{\cos(\alpha_{xi})} \quad (2.13)$$

Потім визначаємо з рівняння (2.14) відповідне для даного кута α_{xi} значення кута ψ_i :

$$A = (x_i - A) * \tan(\vartheta) * \sin(\varphi_{ni}) - (1 - \cos(\varphi_{ni})) * \sin(\vartheta) * y_i \quad (2.14)$$

$$- \cos(\vartheta) * (1 + \tan(\vartheta)^2 * \cos(\varphi_{ni}) * z_i) = 0$$

Де:

$$x_i = \rho_i * \cos(\psi_i)$$

$$y_i = \rho_i * \sin(\psi_i)$$

$$z_i = \csc(\omega_i) * A * \cot(\vartheta) * (K * \cos(\alpha) - \cos(\omega_i))$$

$$\omega_i = \psi_i + \alpha_{xi}$$

$$\varphi_{ni} = i * \varphi_i$$

$$\varphi_i = \psi_i - \text{inv}(\alpha_{xi}) - \sigma_0$$

Далі знаючи значення x_i , y_i , z_i , φ_{ni} при куті ψ_i визначеному з рівняння (2.14) визначаємо координати точок різальної кромки інструменту в системі X_n , Y_n , Z_n по формулам (2.15), (2.16), (2.17) :

$$X_{ni} = A_{1i} * \cos(\varphi_{ni}) - B_{1i} * \sin(\varphi_{ni}) \quad (2.15)$$

$$Y_{ni} = A_{1i} * \sin(\varphi_{ni}) + B_{1i} * \cos(\varphi_{ni}) \quad (2.16)$$

$$Z_{ni} = y_i * \sin(\vartheta) + z_i * \cos(\vartheta) \quad (2.17)$$

Де:

$$A_{1i} = x_i - A$$

$$B_{1i} = y_i * \cos(\vartheta) - z_i * \sin(\vartheta)$$

Потім визначаємо координати точок профілю інструменту в нормальному перерізі по формулам (2.18), (2.19) :

$$X_{Ni} = -X_{ni} \quad (2.18)$$

$$Y_{Ni} = \frac{Y_{ni}}{\cos(\beta_n)} \quad (2.19)$$

В результаті аналітичного розрахунку був отриманий профіль зуба інструменту в нормальному перетині.

Так як довбач представляє собою сукупність нескінченного числа елементарних зубчатих коліс з нескінченно малою шириною вінця, з різною величиною корекції, закріплених на спільній вісі [11]. Щоб знайти профіль в інших перетинах довбача треба до розрахунку додати коефіцієнт корекції

інструменту ξ_2 . Для цього скористаємось формулою (2.20) коефіцієнта корекції довбача в довільному перерізі [11]:

$$\xi_2 = \frac{y * \tan(\alpha_B)}{m} \quad (2.20)$$

Бічний задній кут в перетині по ділильному циліндру визначається по формулі (2.21):

$$\tan \alpha_{6.d} = \tan \alpha_B \tan \alpha = \tan 9^\circ \tan 20^\circ = 3,299^\circ \quad (2.21)$$

Отримані профілі показано на (Рис. 2.5), (Рис. 2.6), (Рис. 2.7):

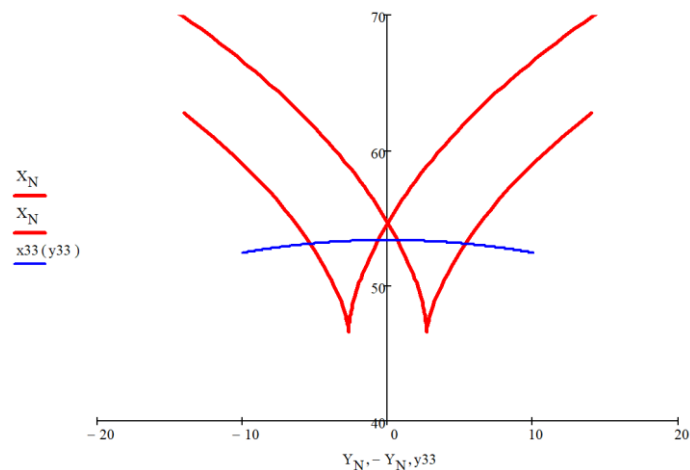


Рисунок 2.5 Профіль довбача в нормальному перерізі

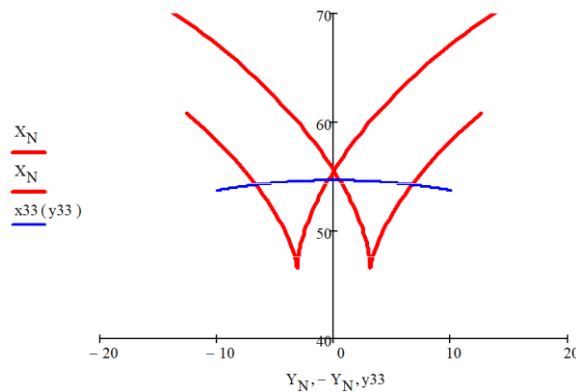


Рисунок 2.6 Профіль довбача для коефіцієнту зміщення 0.494 (відстань від основного перерізу 7.8 мм)

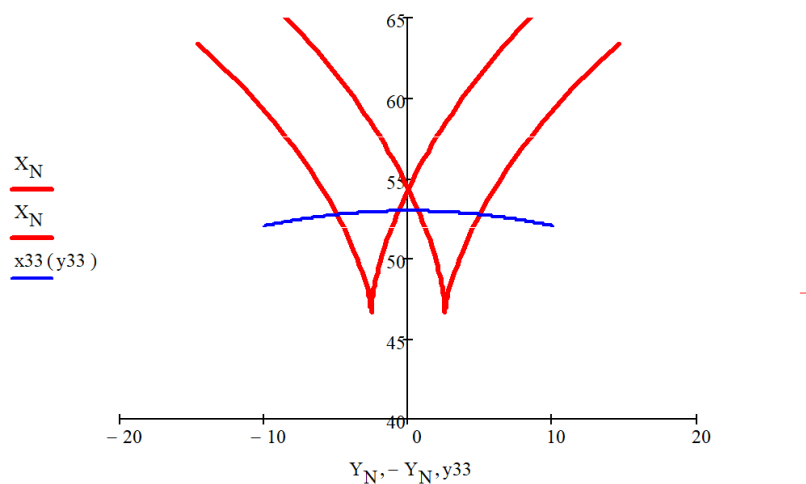


Рисунок 2.7 Профіль довбача для коефіцієнту зміщення -0.158 (відстань від основного перерізу -2.5 мм)

Де: $X_N(Y_N)$ – профіль зуба в нормальному перерізі;

$x33(y33)$ – дуга кола радіусом рівним зовнішньому радіусу інструмента.

Результати розрахунків наведено в Таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 Результати розрахунків

Назва параметру	Позначення	Розрахункова залежність	Розрахункове значення
Модуль	m	-	2.5
Кількість зубів оброблюваного колеса	z_k	-	92
Коефіцієнт корекції оброблюваного колеса	ξ_1	-	0
Кут зачеплення	α	-	20°
Радіус кола вершин оброблюваного колеса	r_e	-	117.5
Радіус кола впадин оброблюваного колеса	r_i	-	111.875
Кут нахилу зубів інструмента	$\beta_{\text{и}}$	-	23°
Кількість зубів інструмента	$z_{\text{и}}$	-	37

Продовження Таблиця 2.2

Коефіцієнт корекції інструменту	ξ_2	-	0
Сумарний коефіцієнт корекції	ξ	$\xi = \xi_1 + \xi_2$	0
Задній кут при вершині	α_B	-	9°
Передаточне відношення	i	$i = \frac{Z_K}{Z_H}$	2.486
Міжосьова відстань	A	$A = m \left(\frac{Z_K}{2} + \frac{Z_H}{2 * \cos(\beta_H)} + \xi \right)$	165.244 мм
Радіус основного кола	r_o	$r_o = \frac{mZ_K}{2} * \cos(\alpha)$	108.065 мм
Кут перехрещення осей	ϑ	$\vartheta = \beta + \beta_H$	23°
Зовнішній радіус інструменту в основному перерізі	r_{ei}	$r_{ei} = A - r_i$	53.369 мм
Зовнішній радіус інструменту (коефіцієнт зміщення 0,494)	r_{ei1}		54.605
Зовнішній радіус інструменту (коефіцієнт зміщення -0,158)	r_{ei2}		52,973

2.2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

Одною із основних складових різального інструменту є матеріал з якого він виготовлений. Найбільш поширеними матеріалами є швидкорізальна сталь (в основному для цільних довбачів) та твердий сплав (для складених довбачів у вигляді пластинок а також для невеликого цільного інструменту) [12].

З'явившись на самому початку ХХ століття, швидкорізальні сталі й сьогодні ще є одними з основних матеріалів для виготовлення різального інструменту (до 60%), незважаючи на те, що інструменти із твердого сплаву, кераміки і НТМ забезпечують більш високі продуктивність обробки і зносостійкість [12].

Швидкорізальні сталі відрізняються від легованих інструментальних наявністю в них значно більшої кількості (до 30% і більше) карбідоутворювальних елементів (вольфраму, ванадію, молібдену та ін.), які значно покращують різальні властивості стали [12].

До сталей нормальної продуктивності (теплостійкості) відносять вольфрамову Р18 і вольфрамомолібденову Р6М5 сталі. Молібден – це хімічний аналог вольфраму, і на структурні перетворення у швидкорізальній сталі впливає так само, як і вольфрам. Молібден – більш сильнодіючий легуючий елемент, який забезпечує швидкорізальній сталі ту саму теплостійкість, що й вольфрам, якщо співвідношення Мо:W за вагою зазначених елементів становить 1:1,5 [12].

Тому для підвищення теплостійкості у вольфрамомолібденовій сталі Р6М5 відносний (вольфрам – молібден) вміст молібдену становить 40–50%, а вольфраму, відповідно, 60–50%. Заміна у швидкорізальній сталі вольфраму молібденом дещо знижує їхню теплостійкість, але за міцністю (σ_i і a_n) вони перевищують сталь Р18 [12].

Ці сталі мають твердість у загартованому стані 63–64 HRC, межу міцності при вигині 2900–3400 МПа, ударну в'язкість 2–4,8 Дж/м² і теплостійкість 600–

620 °С. Вольфрамомолібденові сталі більш пластичні і краще куються, а їхня карбідна неоднорідність на 2 бали нижча, ніж у сталі Р18. Дещо менша теплостійкість і більша механічна міцність вольфрамомолібденових сталей визначають і сферу їхнього застосування. Зокрема, сталь Р6М5 доцільно застосовувати при менших швидкостях різання, але з більшими перерізами зрізаного шару, тобто при більш важкому силовому режимі [12].

Зазначені сталі внаслідок їхньої високої пластичності придатні для виготовлення інструментів методами пластичного деформування. При виготовленні різальних інструментів на сьогодні найбільше поширення зі сталей нормальної продуктивності має молібденова швидкорізальна сталь марки Р6М5, завдяки не лише зниженому (порівняно, наприклад, зі сталлю Р18) складу дорогого і дефіцитного вольфраму, але й кращим показникам за деякими основними «різальними» властивостями: менша густина, що так само робить її більш економічною; більша міцність при вигині і; більша ударна в'язкість a_n ; більша висока пластичність. Разом з тим на відміну від сталі Р18 вона більш схильна до перегрівання і знеуглецювання, що призводить і до більш високих вимог до технології виготовлення і відновлення (заточення) інструментів із цієї сталі. На сьогодні обсяг виробництва сталі Р6М5 досягає 80% від усього обсягу випуску швидкорізальних сталей. Вона використовується при обробці конструкційних сталей, чавунів, кольорових металів, дерева, пластмас та інших матеріалів [12].

Для виготовлення довбача для зуботочіння обираємо швидкорізальну сталь Р6М5. Хімічний склад показано в Таблиця 2.3. Сталь Р6М5 має оптимальні механічні властивості, а саме: твердість в загартованому стані (63–64 HRC), межу міцності при вигині (2900–3400 МПа), ударну в'язкість (2–4,8 Дж/м²), червоностійкість (600–620 °С) [12].

Таблиця 2.3 Хімічний склад сталі Р6М5

Марка сталі	Масова частка, %						
	Вуглець	Хром	Вольфрам	Ванадій	Кобальт	Молібден	Азот
Р6М5	0,82–0,90	3,80–4,40	5,50–6,50	1,70–2,10	н. б. 0,50	4,80–5,30	-

2.3. ЕТАПИ СТВОРЕННЯ 3Д МОДЕЛІ В СЕРЕДОВИЩІ AUTODESK INVENTOR 2020

1. Точки різальної кромки інструменту визначені в Mathcad заносимо в Excel
2. За допомогою команди «Вставити» - «Точки» додаємо точки різальної кромки та з'єднуємо їх сплайном (Рис. 2.8):

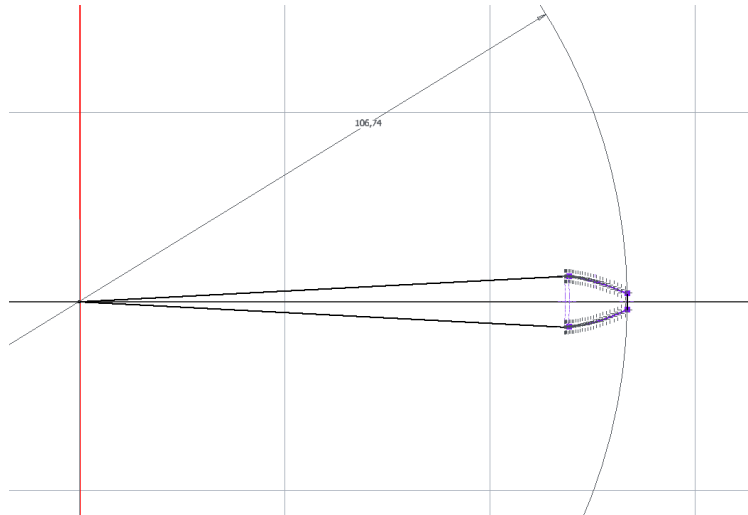


Рисунок 2.8 Профіль зуба в основному перерізі

3. Проводимо аналогічні дії в інших перерізах (Рис. 2.9):

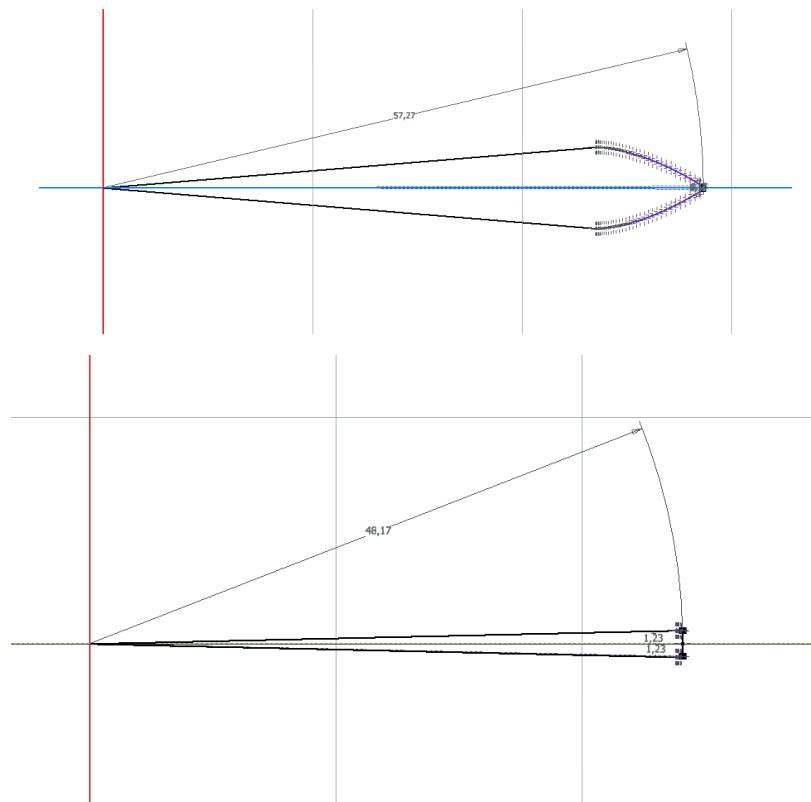


Рисунок 2.9 Профіль зуба в інших перерізах

4. За допомогою команди «Лофт» створюємо зуб (Рис. 2.10):

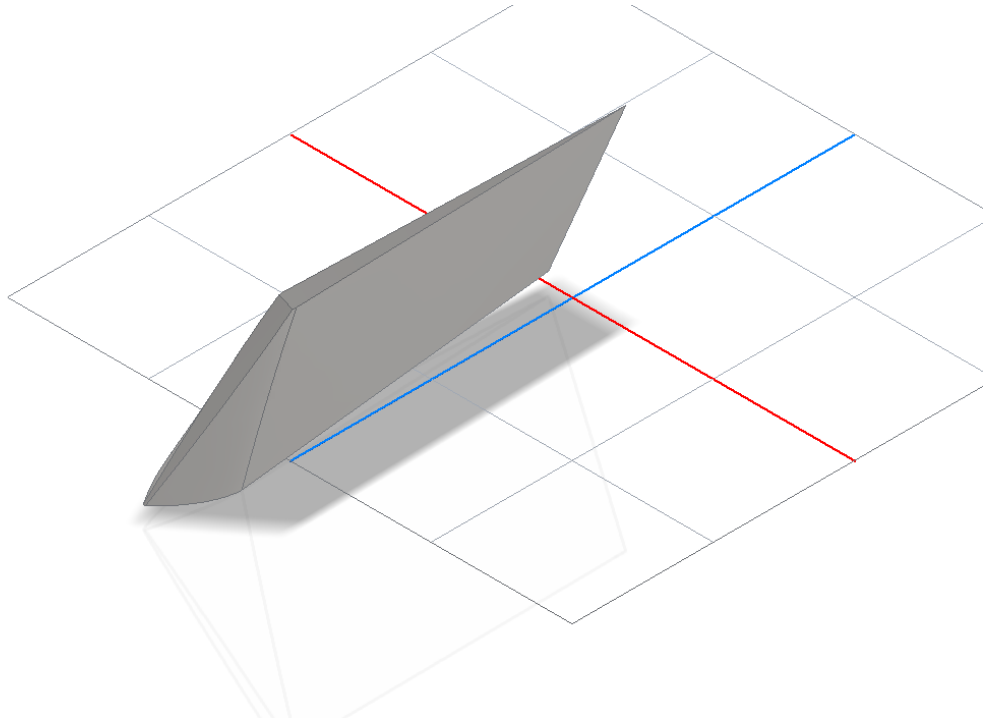


Рисунок 2.10 Зуб інструменту

5. За допомогою команди «Вращение» створюємо тіло інструменту (Рис. 2.11):

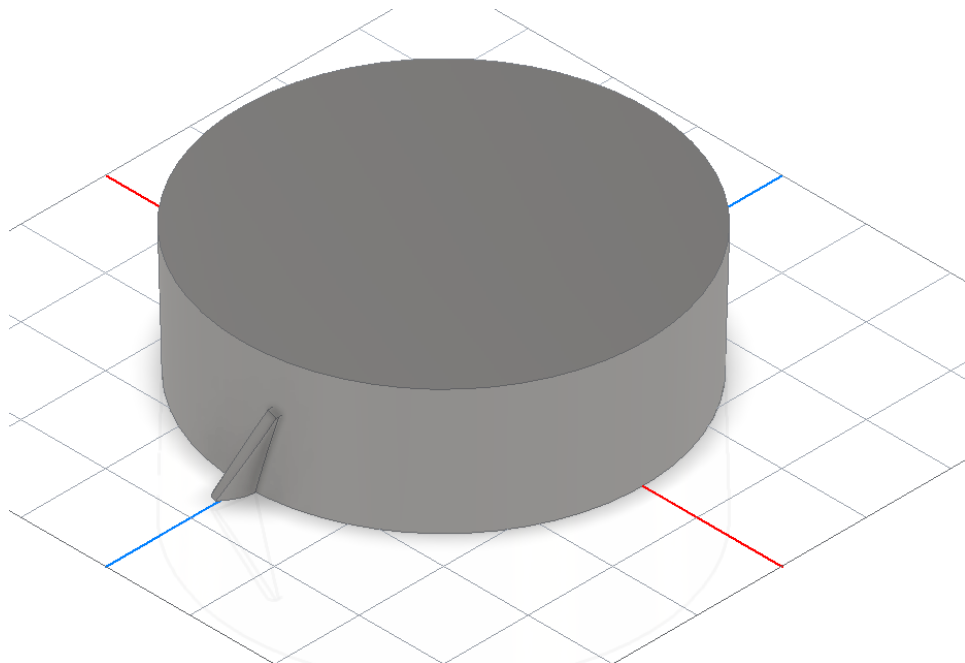


Рисунок 2.11 Зуб інструменту разом з тілом

6. За допомогою команди «Круговой массив» створюємо необхідну кількість зубів (Рис. 2.12):

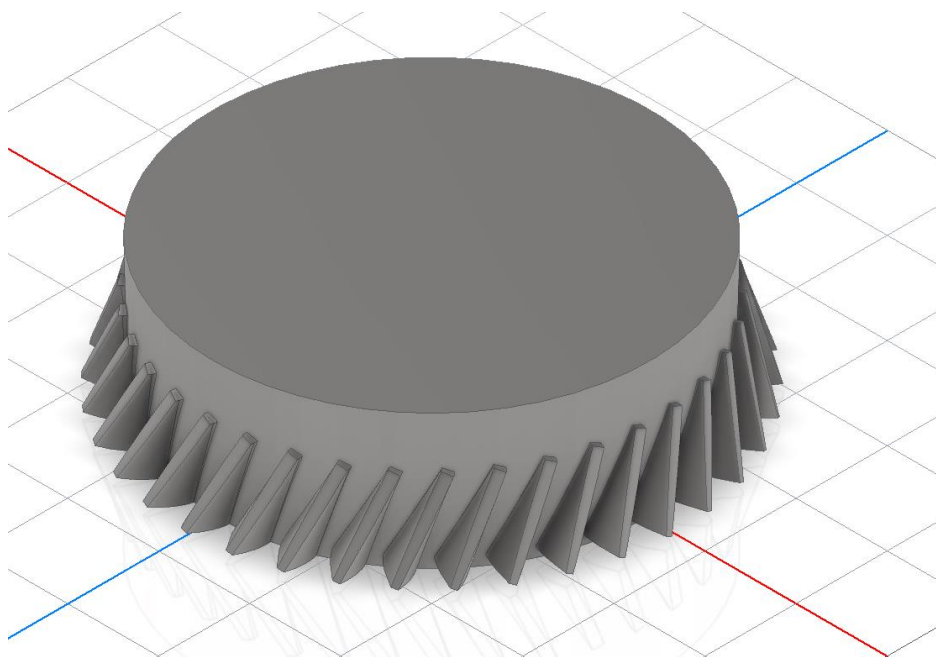


Рисунок 2.12 Тіло інструменту з необхідною кількістю зубів

7. Створюємо центральний отвір та шпонковий паз (Рис. 2.13):

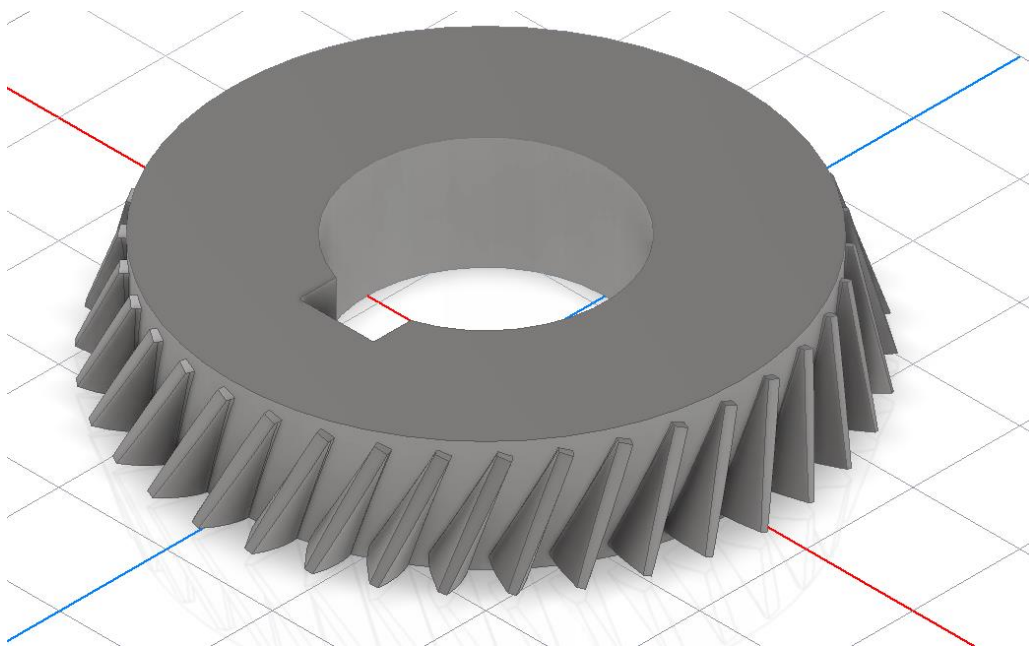


Рисунок 2.13 Інструменті зі шпонковим пазом

8. Створюємо фаску (Рис. 2.14):

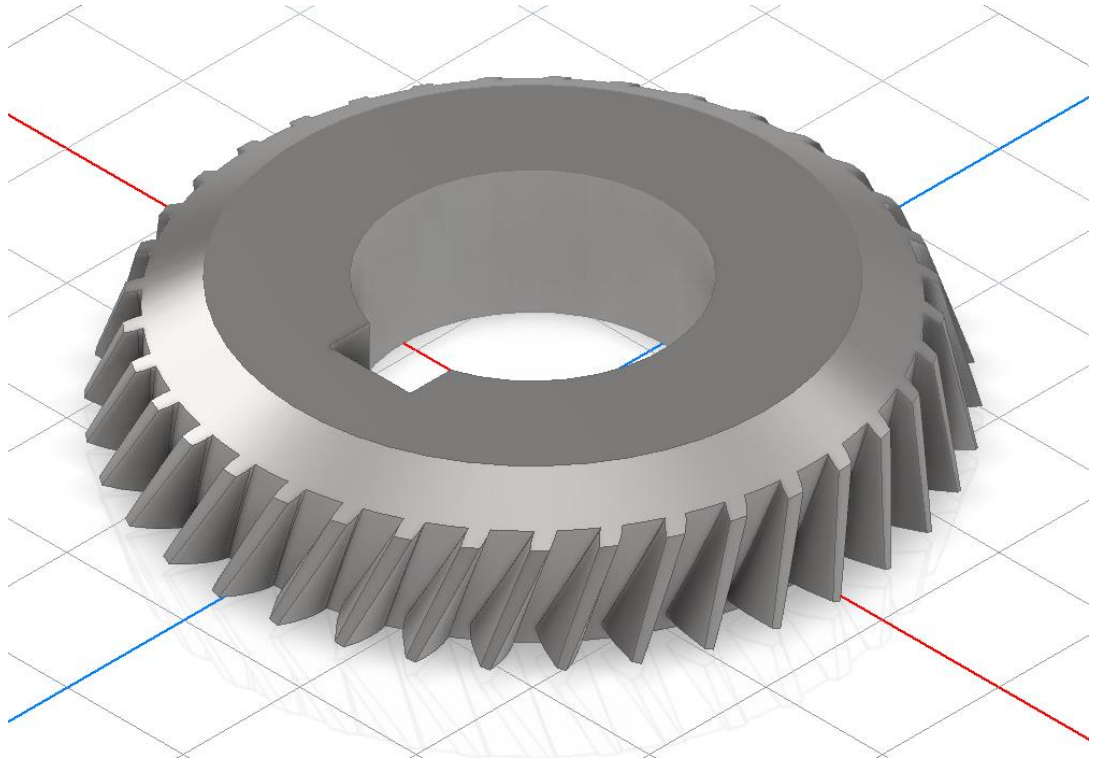


Рисунок 2.14 Інструмент із фаскою

9. За допомогою операцій «Выдавливание» та «Круговой массив» створюємо передню поверхню інструменту (Рис. 2.15)

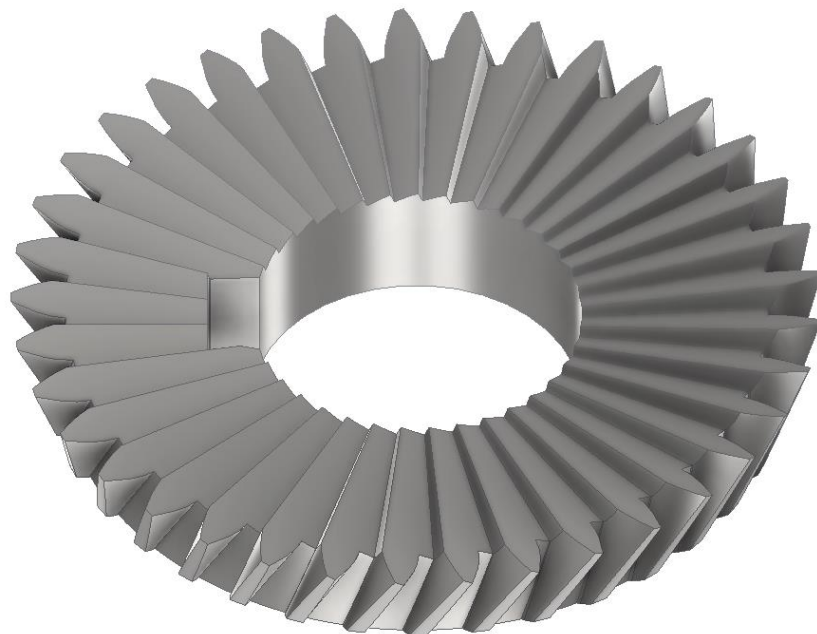


Рисунок 2.15 Інструмент з передньою поверхнею

10.Операцією «Вращение» створюємо внутрішній опорний торець та розточку отвору (Рис. 2.16)

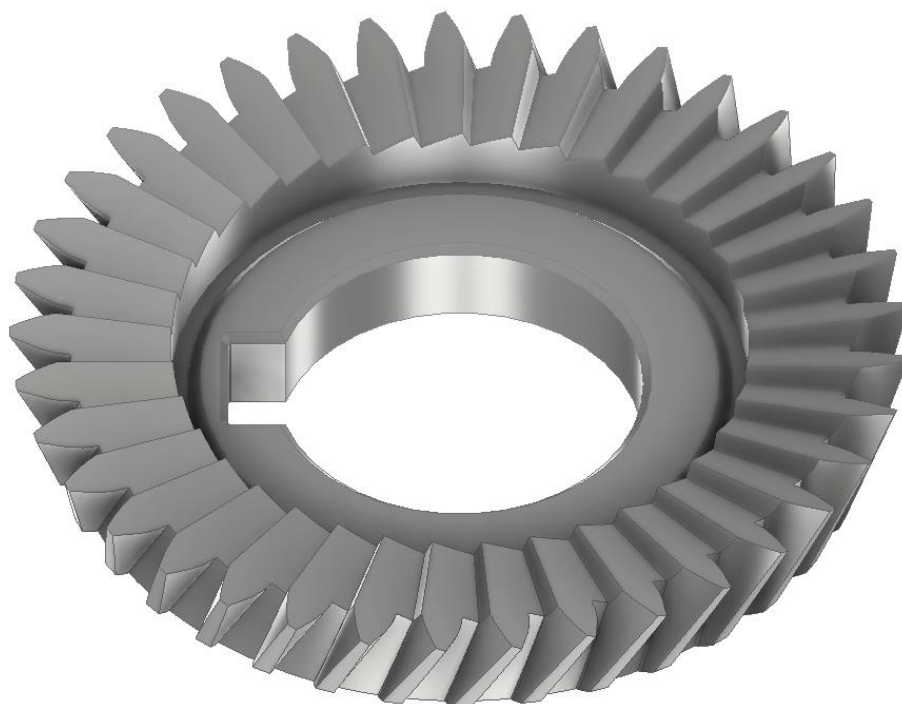


Рисунок 2.16 Готовий інструмент

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. ВИБІР ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ДОВБАЧА

Для виготовлення довбача використовується гарячекатаний пруток Ø115 за ГОСТ 2590-2006 із швидкорізальної сталі Р6М5 згідно ГОСТ 19265-73.

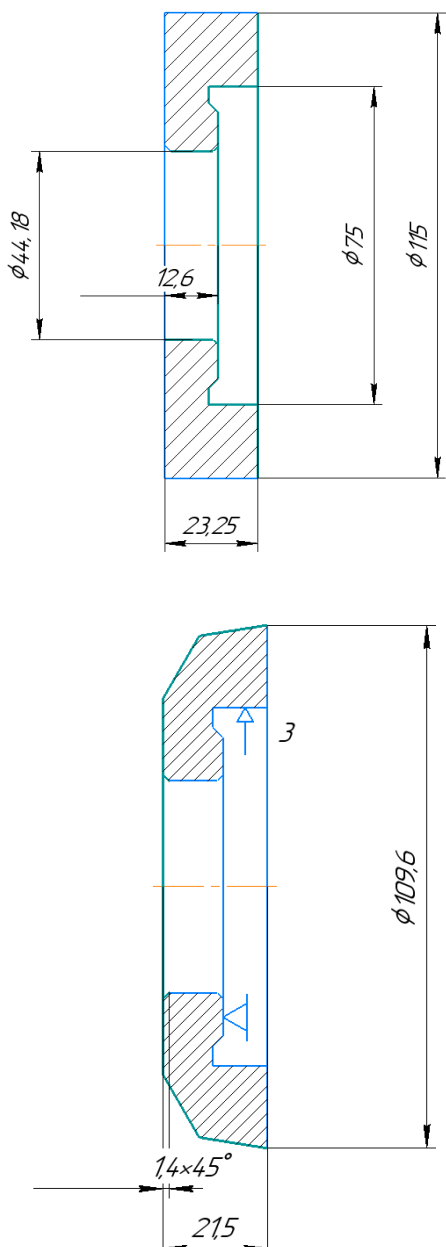
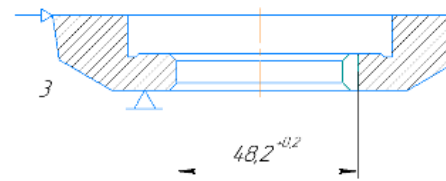
Марку сталі Р6М5 відносять до швидкорізальних сталей нормальної продуктивності. У порівнянні з вуглецевими та легованими інструментальними сталями швидкорізальні сталі мають більшу теплостійкість (600-700 і зносостійкість. Це дозволяє в 2,5-3 рази збільшувати швидкість різання у порівнянні з інструментами з вуглецевих або легованих сталей [13].

3.2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДОВБАЧА

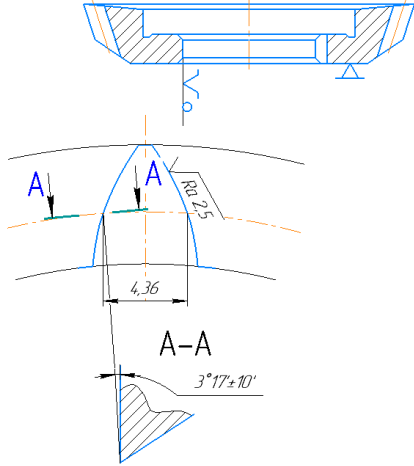
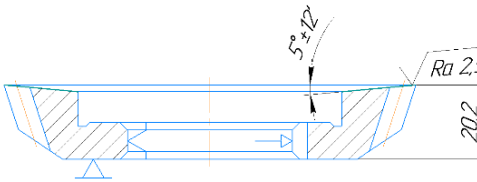
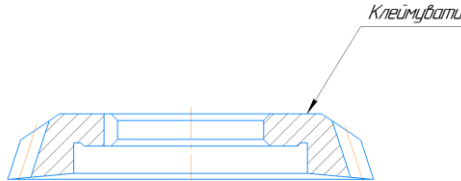
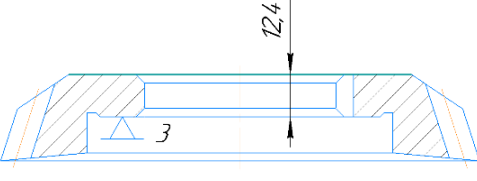
Таблиця 3.1 Технологічний процес виготовлення косозубого довбача

Найменування операції	Технологічний ескіз	Верстат, пристосування	Інструмент різальний та допоміжний
005 Заготівельна: 1. Відрізати заготовку витримуючи розмір 25 2. Кувати до досягнення балу карбідної неоднорідності 1-2 (мінімум 5 разів) 3. Відпалити 4. Галтувати		Стрічкопильний верстат JET MBS-910CS, пневматичний кувальний молот КМ1-20R, електрична піч, галтувальний барабан.	Стрічкова пила

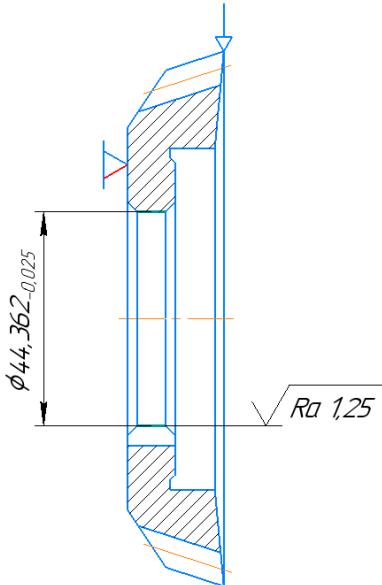
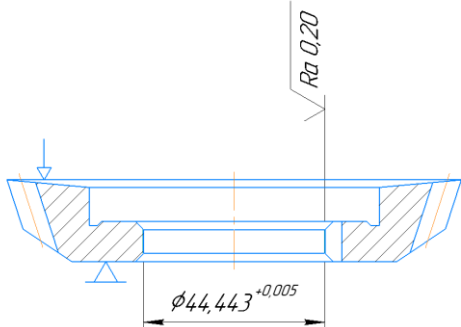
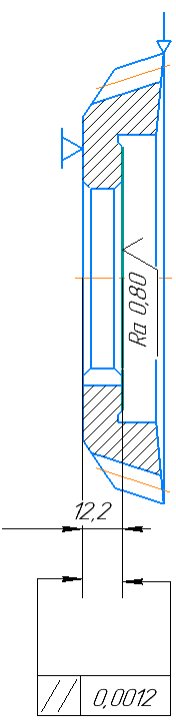
Продовження Таблиця 3.1

<p>010 Токарна з ЧПК Установ А:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Центрувати отвір 2. Свердлити отвір Ø43 3. Підрізати торець в розмір 23.25 начорно начисто. 4. Розточити внутрішній профіль відповідно до програми 5. Розточити торцеву канавку <p>Установ Б:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підрізати торець в розмір 21.5 2. Точити зовнішній профіль відповідно до програми 3. Проточити фаску 1.4 45°. 		<p>Токарний двошпиндельний верстат з ЧПК Naas DS-30Y, Трьохкулачковий патрон, ГОСТ 2675-80</p>	<p>Свердло спеціальне із швидкорізальної сталі. Центрувальне свердло, ГОСТ 10902-77, прохідний різець CNMG 120408, розточний різець, різець для торцевих канавок.</p>
<p>015 Довбальна Продовбати шпонковий паз шириною 14JS9 витримуючи розмір 48.2</p>		<p>Довбальний верстат ГД200, трикулачковий патрон</p>	<p>Довбальний різець 2184-0573 за ГОСТ 10046-72, Р6М5</p>

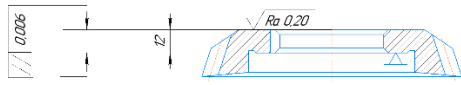
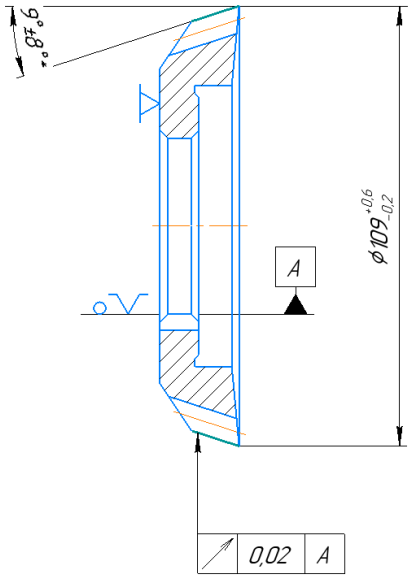
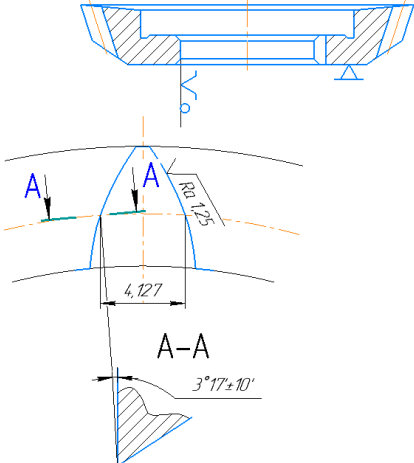
Продовження Таблиця 3.1

<p>020 Зубофрезерна з ЧПК</p> <p>Фрезерувати зуби, витримуючи розмір 4.36 на товщину зуба, задній кут по бічним $\alpha_6=3^\circ 17'$ сторонам та кут нахилу зуба 23° відповідно до креслення</p>		<p>Зубофрезерний с ЧПУ ZFWZ03. Центр упорний 1:10, ГОСТ 7344-55</p>	<p>Фреза черв'ячна. Оправка на верстат FWZ03</p>
<p>025 Фрезерна</p> <p>Фрезерувати передню поверхню зубів</p>		<p>Горизонтально фрезерний верстат</p>	<p>Дискова двокутова фреза. Універсальна ділильна головка УДГ-135 ГОСТ 8615-89</p>
<p>030 Слюсарна</p> <p>1. Зачистити задирки</p> <p>2. Клеймувати на глибину 0.4 мм</p>		<p>Слюсарний верстак</p>	<p>Клейма шрифт № 4. Молоток</p>
<p>035 Термічна</p> <p>1. Загартувати HRC_c 63...66</p> <p>2. Трикратний відпуск з витримкою по 1 год</p>	<p>Температура гартування 1210-1230 °С, температура відпуску 540-560 °С</p>	<p>Твердомір ТК-2</p>	
<p>040</p> <p>Плоскошліфувальна</p> <p>Шліфувати зовнішній торець попередньо в розмір 12,4</p>		<p>Плоскошліфувальний RT-60. Комплект магнітних перехідників.</p>	<p>Круг 1-350×40×127 90A60K5V. Правлячий олівець 3908-0081, ГОСТ 607-80</p>

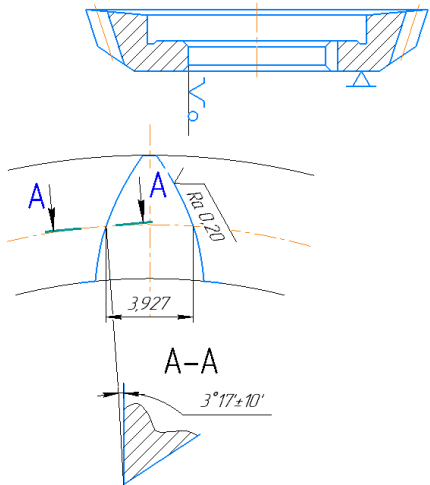
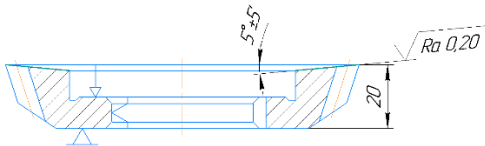
Продовження Таблиця 3.1

<p>045 Внутрішньошліфувальна Шліфувати отвір витримуючи розмір $\varnothing 44,362$</p>		<p>Внутрішньошліфувальний верстат 3212А. Пристосування для шліфування.</p>	<p>Круг 1А130×32×20×5 ЛКВ40 80/63 СТ1К27 100%, ГОСТ 24747-90. Правлячий олівець 3908-0051, ГОСТ 607-80</p>
<p>050 Хонінгувальна Хонінгувати отвір в розмір відповідно до креслення $\varnothing 44,443$</p>		<p>Хонінгувальний верстат Gehring Lifhone.</p>	<p>Хон Gehring серія TN/TS, матеріал абразивних брусків СТ1К</p>
<p>055 Внутрішньошліфувальна Шліфувати внутрішній опорний торці, витримуючи розмір 12,2.</p>		<p>Внутрішньошліфувальний верстат 3212А.</p>	<p>Круг 1А1 40×32×20×5 ЛКВ40 160/125 С1К27 100%, ГОСТ 24747-90. Правлячий олівець 3908-0051, ГОСТ 607-80</p>

Продовження Таблиця 3.1

<p>060 Плоскошліфувальна Шліфувати зовнішній опорний торець в розмір 12</p>		<p>Плоскошліфувальний RT-60. Комплект магнітних перехідників</p>	<p>Круг 1A1 200×10×75×5 ЛКВ 160/125 СТ1 К 100%, ГОСТ 24747-90. Алмазний олівець 3908-0081, ГОСТ 607-80</p>
<p>065 Круглошліфувальна Шліфувати зовнішній діаметр $\phi 109_{-0.2}^{+0.6}$, витримуючи кут $9^{\circ} \pm 8'$ відповідно до креслення</p>		<p>Універсально-шліфувальний верстат 3U12AF11</p>	<p>Шліфувальний круг 1-450×40×127 90A60K5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмазний олівець 3908-0081, ГОСТ 607-80. Оправка</p>
<p>070 Зубошліфувальна Шліфувати профіль зубів витримуючи розмір 4.121 та задній кут $3^{\circ}17'$ по бічним сторонам відповідно до креслення</p>		<p>Зубошліфувальний RFS-031. Ділильний диск. Сектор обкату</p>	<p>Круг 4 250×12×55. 90A60K5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправці 39080128, ГОСТ 2298-78. Оправка</p>

Продовження Таблиця 3.1

<p>075 Зубошліфувальна Шліфувати профіль зубів остаточно, відповідно до креслення.</p>		<p>Зубошліфувальний RFS-031. Ділильний диск. Сектор обкату</p>	<p>Круг 4- 250×12×55 90A60K5V, ГОСТ Р 52781-2007. Алмаз в оправці 3908- 0128, ГОСТ 22908-78. Оправка</p>
<p>080 Плоскошліфувальна 1. Встановити та закріпити заготовку 2. Остаточно шліфувати передню поверхню зубів, витримуючи кут 5°, та кут 23°</p>		<p>Універсально заточний верстат 3E642E Прийомування для шліфування передньої поверхні.</p>	<p>Круг 1A1 200×10×75×5 ЛКВ 160/125 СТ1 К 100%, ГОСТ 24747- 90. Алмазний олівець 3908- 0081, ГОСТ 607-80</p>
<p>085 Слюсарна 1. Розмагнітити деталь 2. Зачистити задири</p>		<p>Слюсарний стіл Установка- демагнітезатор.</p>	<p>Щітка абразивно- полімерна</p>
<p>090 Контрольна 1. Контролювати параметри довбача відповідно до креслення. Контроль 100% 2. Контролювати відсутність задинок, забоїн, припалів.</p>			<p>Оправка контрольна малої конусності, Мікрометр типу МЗ, ГОСТ 6507- 80.Контрольн о- вимірювальна машина Hofler. Диск обкочувальни й. Профілометр Surfcorder SE500</p>

3.3. РОЗРАХУНОК ПРИПУСКІВ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ

Розрахунок припусків на механічну обробку центрального отвору $\varnothing 44.443^{+0.005}$ мм розрахунково аналітичним методом.

Заготовку для довбача отримуємо з горячекатаного круглого прокату (ГОСТ 2590-2006), матеріал – швидкорізальна сталь Р6М5 (ГОСТ 19265-73).

Поверхня піддається: свердлінню, розточуванню чорновому, розточуванню чистовому, шліфуванню та хонінгуванню.

Мінімальний припуск при обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання [14] визначаються за формулою (3.1):

$$2z_{i \min} = 2 \left(R_{z \ i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right) \quad (3.1)$$

де: $2z_{i \min}$ – мінімальний припуск на дві сторони чи по діаметру;

$R_{z \ i-1}$ – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

T_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

ρ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень на елементарній поверхні на попередньому переході;

ε_{yi} – похибка установки заготовки на даному переході.

Так як ми не знаємо напрямки векторів ρ та ε їх значення будемо визначати по формулам (3.2) та (3.3):

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2} \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_2^2} \quad (3.3)$$

де: ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення.

1. Свердління (12 квалітет)

Висота нерівностей профілю та глибина дефектного шару після свердління за табл. 24 [14] для діапазону діаметрів 18...50 мм складає:

$$R_z = 50 \text{ мкм}, T = 70 \text{ мкм}.$$

Просторові відхилення просвердлених отворів визначаються за формулою (3.4):

$$\rho = \sqrt{(\Delta_y l)^2 + c_o^2} \quad (3.4)$$

де: Δ_y - питоме значення відведення осі отвору табл. 25 [14];

l – довжина отвору в мм;

c_o – зміщення осі отвору табл.25 [14].

При свердлінні спіральними свердлами для діапазону діаметрів 30...50 мм:

$$\Delta_y = 0.7 \frac{\text{мкм}}{\text{мм}}, c_o = 30 \text{ мкм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{(0.7 \cdot 20)^2 + 30^2} = 33.106 \text{ мкм}$$

При встановленні в трикулачковий самоцентруючий патрон гарячекатаного прутка з діаметром базової поверхні 80...120 мм при радіальному напрямку зміщення заготовки похибка встановлення становить (табл. 19 [14]):

$$\varepsilon_1 = 500 \text{ мкм}$$

2. Чорнове розточування (11 квалітет)

Висота нерівностей профілю та глибина дефектного шару після чорнового розточування за табл. 24 [14] для діапазону діаметрів 50...260 мм складає:

$$R_z = 50 \text{ мкм}, T = 50 \text{ мкм}.$$

Просторові відхилення на наступних, після свердління, переходах визначаються за наступною формулою (3.5) [14]:

$$\rho_{\text{ост}} = K_y \rho_{\text{екс}} \quad (3.5)$$

де: K_y – коефіцієнт уточнення (після чорнкової обробки $K_y=0.05$, після напівчистої $K_y=0.005$, чистої $K_y=0.002$)

$$\rho_2 = 33.106 \cdot 0.05 = 1.655 \text{ мкм}$$

При встановленні в трикулачковий самоцентруючий патрон чисто обробленої заготовки з діаметром базової поверхні 80...120 мм при

радіальному напрямку зміщення заготовки похибка встановлення становить (табл. 19 [14]):

$$\varepsilon_2 = 80 \text{ мкм}$$

Розрахуємо мінімальний припуск:

$$2z_{2 \min} = 2 \left(50 + 70 + \sqrt{33.106^2 + 80^2} \right) = 413.159 \text{ мкм}$$

3. Чистове розточування (9 квалітет)

Висота нерівностей профілю та глибина дефектного шару після чистового розточування за табл. 24 [14] для діапазону діаметрів 50...180 мм складає:

$$R_z = 20 \text{ мкм}, T = 25 \text{ мкм}.$$

Просторовими відхиленням на даному та наступних переходах нехтуємо (на попередньому переході воно становило 1.655 мкм, а після чорнового розточування стане значно менше)

При встановленні в трикулачковий самоцентруючий патрон чисто обробленої заготовки з діаметром базової поверхні 80...120 мм при радіальному напрямку зміщення заготовки похибка встановлення становить (табл. 19 [14]):

$$\varepsilon_3 = 80 \text{ мкм}$$

Розрахуємо мінімальний припуск:

$$2z_{3 \min} = 2 \left(50 + 50 + \sqrt{1.655^2 + 80^2} \right) = 360.034 \text{ мкм}$$

4. Шліфування (7 квалітет)

Висота нерівностей профілю та глибина дефектного шару після шліфування за табл. 24 [14] для діапазону діаметрів до 80 мм складає:

$$R_z = 3 \text{ мкм}, T = 10 \text{ мкм}.$$

Похибка базування заготовки при базуванні з вивіркою табл.23 [14]:

$$\varepsilon_4 = 30 \dots 60 \text{ мкм}; \text{приймаємо } 45 \text{ мкм}$$

Розрахуємо мінімальний припуск:

$$2z_{4 \min} = 2(20 + 25 + 45) = 180 \text{ мкм}$$

5. Хонінгування

Висота нерівностей профілю та глибина дефектного шару після хонінгування за табл. 24 [14] для діапазону діаметрів до 80 мм складає:

$$R_z = 0.6 \text{ мкм}, T = 6 \text{ мкм}.$$

Похибка базування заготовки при базуванні з вивіркою табл.23 [14]:

$$\varepsilon_4 = 30 \dots 60 \text{ мкм}; \text{приймаємо } 30 \text{ мкм}$$

Розрахуємо мінімальний припуск:

$$2z_{5 \min} = 2(3 + 10 + 30) = 86 \text{ мкм}$$

Результати розрахунків заносимо в Таблиця 3.2.

Таблиця 3.2 Розрахунок припусків та міжопераційних розмірів на механічну обробку центрального отвору довбача.

Тех. операції та переходи обробки елементарних поверхонь	Елементи припуску				Розрахунковий припуск $2Z_{min}$, мкм	Допуск TD , мкм	Розрахунковий розмір, мм	Прийняті розміри по переходах, мм		Граничне значення припусків, мкм	
	R_z	T	ρ	ε				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Свердління	50	70	33.106	500		250	43.409	43.16	43.41		
Чорнове розточування	50	50	1.655	80	413.159	160	43.822	43.66	43.82	410	500
Чистове розточування	20	25	-	80	360.034	62	44.182	44.12	44.182	362	460
Шліфування	3	10	-	45	180	25	44.362	44.337	44.362	180	217
Хонінгування	0.6	6	-	30	86	5	44.448	44.443	44.448	86	106

Виконаємо перевірку розрахунків за формулою (3.6):

$$TD_{\text{заг}} - TD_{\text{дет}} = \sum Z_{\text{max}} - \sum Z_{\text{min}} \quad (3.6)$$

де: $TD_{\text{заг}}$ – допуск на розмір заготовки;

$TD_{\text{дет}}$ – допуск на розмір деталі;

$\sum Z_{\text{max}}$ та $\sum Z_{\text{min}}$ – загальні припуски на обробку.

Перевірка:

$$\begin{aligned} 250 - 5 &= (500 + 460 + 217 + 106) - (410 + 362 + 180 + 86) \\ 245 &= 245 \end{aligned}$$

Умова виконується, отже розрахунок виконано правильно.

3.4. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Розрахунок режимів різання для свердління отвору $\varnothing 43$

Подачу обираємо з табл. 25 [15], для діапазону діаметрів свердл 40...50 мм при обробці сталі з твердістю HB 240...300:

$$s = 0.42 \dots 0.48, \text{ приймаємо } s = 0.45 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання визначаємо за формулою (3.7):

$$v = \frac{C_v D^q}{T^{m_s} y} K_v \quad (3.7)$$

де: C_v , q , m , y – коефіцієнт, та показники степенів при свердлінні обираємо за табл. 28 [15]

T – стійкість інструменту, обираємо з табл. 30 [15]

D – діаметр оброблюваного отвору.

K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання який враховує фактичні умови різання, визначається по формулі (3.8):

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{lv} \quad (3.8)$$

де: K_{mv} – коефіцієнт на оброблюваний матеріал з табл. 1-4 [15];

K_{uv} – коефіцієнт на інструментальний матеріал табл. 6 [15];

K_{lv} – коефіцієнт на глибину свердління табл. 31 [15].

Для зручності всі параметри занесемо в Таблиця 3.3:

Таблиця 3.3 параметри для визначення швидкості різання при свердлінні

C_v	q	m	y	T	K_{mv}	K_{uv}	K_{lv}
9.8	0.4	0.2	0.5	90	0.6	1	1

Розрахуємо швидкість різання при свердлінні:

$$v = \frac{9.8 \cdot 43^{0.4}}{90^{0.2} 0.45^{0.5}} \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 1 = 16.044 \text{ м/хв}$$

Крутний момент при свердлінні визначаємо по формулі (3.9):

$$M_{кр} = 10 C_M D^q s^y K_p \quad (3.9)$$

де: C_M , q , y – коефіцієнт, та показники степенів при свердлінні обираємо за табл. 32 [15];

K_p - загальний поправочний коефіцієнт який враховує фактичні умови різання, в даному випадку залежить тільки від матеріалу оброблюваної деталі, табл. 9 [15].

Осьову силу визначаємо по формулі (3.10):

$$P_o = 10 C_p D^q s^y K_p \quad (3.10)$$

де: C_p , q , y – коефіцієнт, та показники степенів при свердлінні обираємо за табл. 32 [15];

Для зручності всі параметри занесемо в Таблиця 3.4:

Таблиця 3.4 параметри для визначення крутного моменту та осьової сили при свердлінні

K_p	Крутний момент			Осьова сила		
	C_M	q	y	C_p	q	y
1	0.0345	2	0.8	68	1	0.7

Розрахуємо крутний момент та осьову силу:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0.0345 \cdot 43^2 \cdot 0.45^{0.8} \cdot 1 = 336.764 \text{ Н/м}$$

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 43^1 \cdot 0.45^{0.7} \cdot 1 = 16719.609 \text{ Н}$$

Потужність різання визначаємо по формулі (3.11):

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750} \quad (3.11)$$

де: n – частота обертання інструменту, визначається по формулі (3.12):

$$n = \frac{1000v}{\pi D} \quad (3.12)$$

Розрахуємо частоту обертів:

$$n = \frac{1000 \cdot 16.044}{\pi \cdot 43} = 118.766 \text{ об/хв}$$

Розрахуємо потужність різання:

$$N_e = \frac{336.764 \cdot 118.766}{9750} = 4.102 \text{ кВт}$$

4. КОНСТРУКТОРСЬКА СКЛАДОВА

4.1. РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОЇ СИЛИ ЗАТИСКУ ЗАГОТОВКИ

Необхідну силу затиску заготовки визначимо вирішуючи задачу статичи твердого тіла. Схему затиску заготовки показано на (Рис. 4.1):

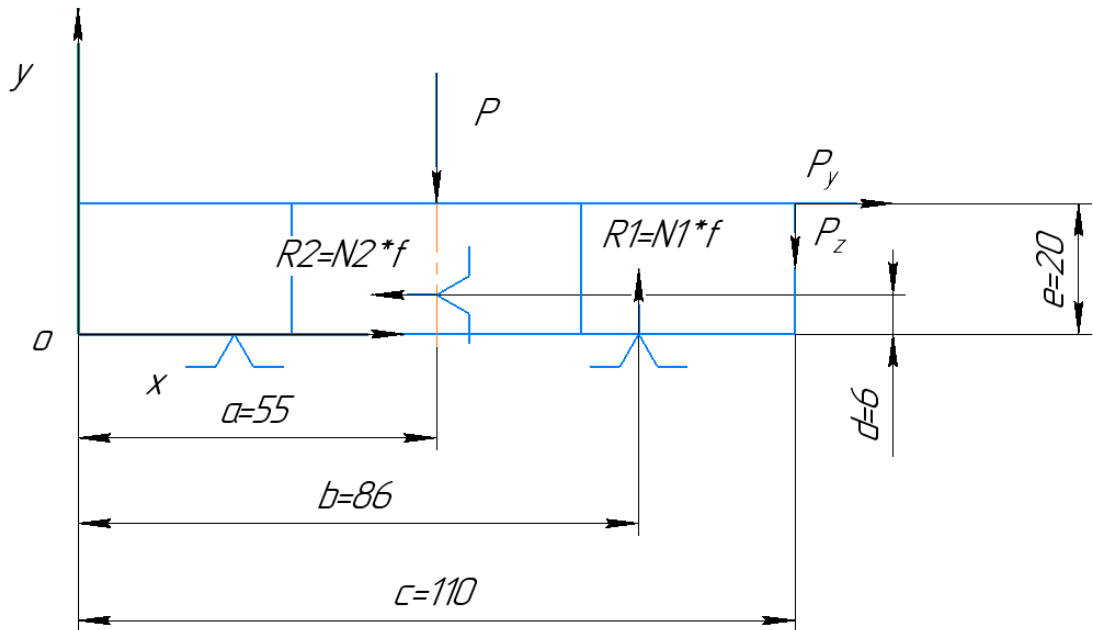


Рисунок 4.1 Схема затиску заготовки

Визначимо необхідну силу затиску P з умов рівноваги тіла на площині, формули (4.1), (4.2), (4.3):

$$\sum F_{ix} = 0 \quad (4.1)$$

$$\sum F_{iy} = 0 \quad (4.2)$$

$$\sum M_{io} = 0 \quad (4.3)$$

$$\sum F_x = -R2 + Py = 0 \rightarrow R2 = Py \rightarrow N2 = \frac{Py}{f}$$

$$\sum F_y = -P + R1 - Pz = 0 \rightarrow R1 = P + Pz \rightarrow N1 = \frac{P + Pz}{f}$$

$$\begin{aligned}
\sum M_{io} &= -P * a + R2 * d + R1 * b - Pz * c - Py * e = 0 \rightarrow \\
\rightarrow P * a &= R2 * d + R1 * b - Pz * c - Py * e \rightarrow \\
\rightarrow P * a &= \frac{Py * a}{f} + \frac{P * d}{f} + \frac{Pz * d}{f} - Pz * c - Py * e \rightarrow \\
\rightarrow P * a - \frac{P * d}{f} &= \frac{Py * a}{f} + \frac{Pz * d}{f} - Pz * c - Py * e \rightarrow \\
\rightarrow P * \left(a - \frac{d}{f}\right) &= \frac{Py * a}{f} + \frac{Pz * d}{f} - Pz * c - Py * e \rightarrow \\
\rightarrow P &= \frac{\frac{Py * a}{f} + \frac{Pz * d}{f} - Pz * c - Py * e}{\left(a - \frac{d}{f}\right)}
\end{aligned}$$

З умов рівноваги твердого тіла отримали формулу (4.4) для визначення сили затиску:

$$P = \frac{\frac{Py * a}{f} + \frac{Pz * d}{f} - Pz * c - Py * e}{\left(a - \frac{d}{f}\right)} \quad (4.4)$$

Для розрахунків формулу (4.4) доповнимо коефіцієнтом запасу К:

$$Q = K * P$$

Де: К – коефіцієнт запасу, $K > 1$. Для операції заточування приймаємо $K=1.2$.

Розрахуємо необхідну силу затиску заготовки з урахуванням сил різання. Сили різання при плоскому шліфуванні приймаємо з [16] (табл. 56) при шліфуванні сталі кругом із електрокорунду білого з крихкою зв'язкою, глибиною різання до 50 мкм, без використання МОР:

$$Py = 113 \text{ кгс}, Pz = 35 \text{ кгс}$$

Коефіцієнт тертя f , при контакті оброблених поверхонь приймаємо:

$$f = 0.15$$

Розрахуємо необхідну силу затиску:

$$Q = \frac{1.2 * (\frac{1.108 * 55}{0.15} + \frac{0.343 * 6}{0.15} - 0.343 * 110 - 1.108 * 20)}{(55 - \frac{6}{0.15})} = 28.811 \text{ кН}$$

Діаметр різьби затискного болта визначимо за формулою (4.5):

$$d = C * \sqrt{\frac{Q}{\sigma}} \quad (4.5)$$

Де: С – коефіцієнт, для основної метричної різьби С=1.4;

Q – сила затиску;

σ – межа текучості болта, для болтів класу міцності 12.9 σ=1100 МПа

$$d = 1.4 * \sqrt{\frac{28.811}{1100}} = 7.165 \text{ мм}$$

4.2. ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТОСУВАННЯ

Заточування передньої поверхні виконується на універсально-заточному верстаті. Для базування в пазу верстата використовують шпонки 15.

Оправка 17 з конусом морзе КМ1, вставляється в отвір шпинделя 18 який обертається в радіально упорних підшипниках 19. Внутрішні кільця підшипників на шпинделі затискаються гайкою 24, а хвостовик оправки в отворі шпинделя затягується болтом 29. Зовнішні кільця підшипників шпинделя знаходяться в отворі головки шпинделя 30. Циліндричний хвостовик головки входить у втулки 2 стійки 25 з віссю, нахиленою на величину переднього кута довбача 5°.

При встановленні хвостовик головки повертається на кут нахилу зуба довбача по градуюванню на буртику головки шпинделя 30. Хвостовик головки в отворі втулок стійки закріплюється гайками 1 та 3.

При встановленні довбача його попередньо фіксують змінним наконечником 9 по вершині зуба та затискають гвинтом 16. Змінний наконечник закріплений в кронштейні 10. Для фіксації довбача кронштейн піднімають вгору і затискають болтом 13.

Далі виконується установка фіксатора 7 по впадині зуба довбача при поперечному переміщенні салазок 5 по верхньому пазу стійки 25 та повороту навколо вісі 6. Положення салазок закріплюється болтами 4, а державки – болтами 26. Після цього гвинт 13 відкріплюється і кронштейн 10 з наконечником опускається вниз.

Після заточування передньої поверхні зуба довбача фіксатор 7 виводиться із западини зуба і довбач повертається на коловий крок зуба, фіксатор вводиться у впадину наступного зуба. Після цього заточується передня поверхня наступного зуба.

5. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ НА ВЕРСТАТ З ЧПК

5.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАДНАННЯ

Для виконання токарної операції з ЧПК було обрано верстат Haas DS-30Y (Рис. 5.1), його технічні характеристики представлені в Таблиця 5.1. Так як цей верстат має два шпинделя, то всю токарну обробку можна виконати за одну операцію.



Рисунок 5.1 Верстат Haas DS-30Y [17]

Використання сучасних верстатів з числовим програмним керуванням дає змогу значно зменшити час на виготовлення деталі, дає можливість зменшити кількість операцій на виготовлення деталі за рахунок їх об'єднання. Верстати з ЧПК дають набагато більшу точність ніж універсальні верстати.

Таблиця 5.1 Характеристики верстат Haas DS-30Y

Максимальний діаметр над переднім фартуком	806 мм
Максимальний діаметр над поперечним супортом	527 мм
Максимальний діаметр над другим шпінделем	552 мм
Максимальний розмір патрона	254 мм
Максимальний діаметр обробки	457 мм
Максимальна довжина різання	584 мм
Найбільший діаметр прутка для головного шпинделя	76 мм
Максимальний хід вздовж вісі X	318 мм
Максимальний хід вздовж вісі Z	584 мм
Швидкість прискореної подачі вздовж вісі X	12 м/хв
Швидкість прискореної подачі вздовж вісі Y	12 м/хв
Швидкість прискореної подачі вздовж вісі Z	24 м/хв
Максимальне зусилля вздовж вісі X	18238 Н
Максимальне зусилля вздовж вісі Y	10231 Н
Максимальне зусилля вздовж вісі Z	22686 Н
Максимальна потужність на головному шпинделі	22.4 кВт
Максимальна частота обертання основного шпинделя	4500 об/хв
Максимальний крутний момент основного шпинделя	373 Нм при 600 об/хв
Діаметр отвору основного шпинделя	88.9 мм
Розмір патрону допоміжного шпинделя	210 мм
Максимальна потужність на допоміжному шпинделі	14.9 кВт
Максимальна частота обертання допоміжного шпинделя	4800 об/хв
Максимальний крутний момент допоміжного шпинделя	149 Нм при 700 об/хв
Діаметр отвору допоміжного шпинделя	50.8 мм
Найбільший діаметр прутка для допоміжного шпинделя	51 мм
Кількість інструментів	по 12 на кожен шпіндель

5.2. СТВОРЕННЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ НА ВЕРСТАТ З ЧПК

Для створення керуючої програми було використано модуль Inventor CAM Ultimate (Рис. 5.2) для системи автоматизованого проектування Autodesk Inventor. Цей модуль дозволяє на базі створеної в Autodesk Inventor 3d моделі створювати керуючі програми для верстатів з ЧПК. Модуль містить велику бібліотеку постпроцесорів для різноманітних систем ЧПК.

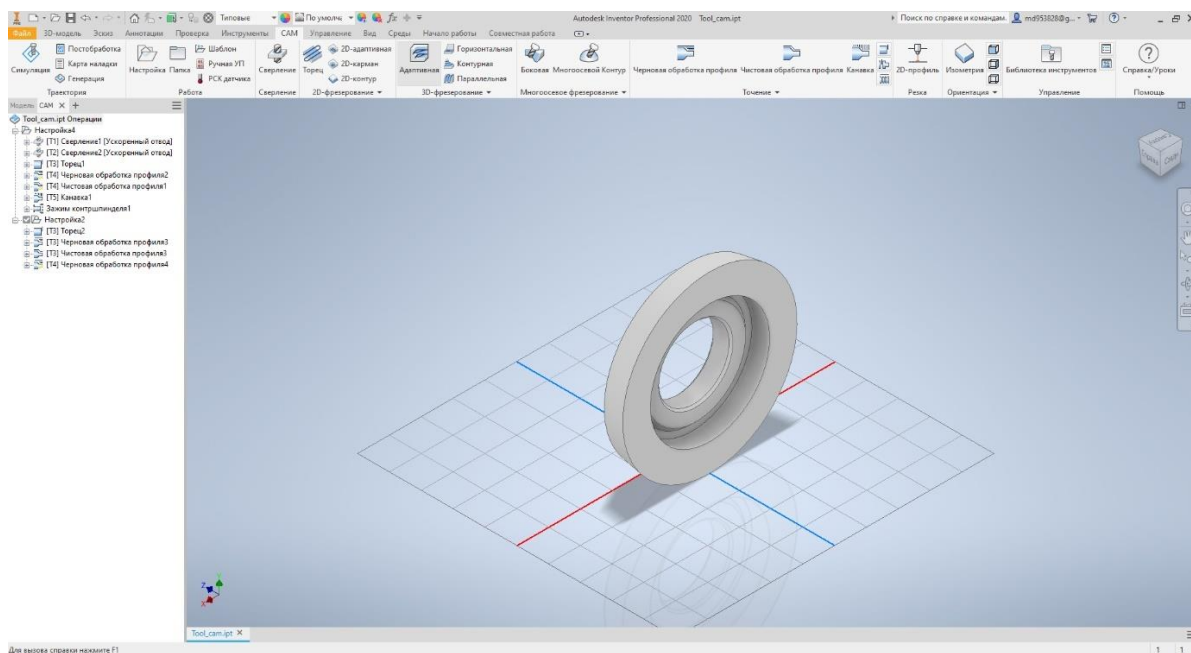


Рисунок 5.2 Интерфейс модуля Inventor CAM

За допомогою модуля Inventor CAM була створена керуюча програма на токарну операцію 010.

На першому переході (Рис. 5.3) виконується центрування отвору під наступне свердління.

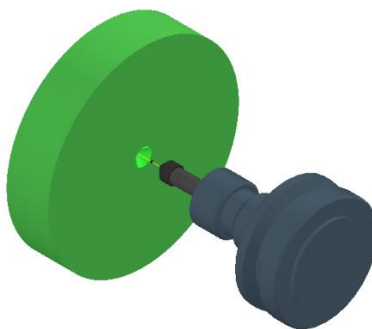


Рисунок 5.3 Центрування отвору

Далі виконується свердління отвору Ø43 (Рис. 5.4).

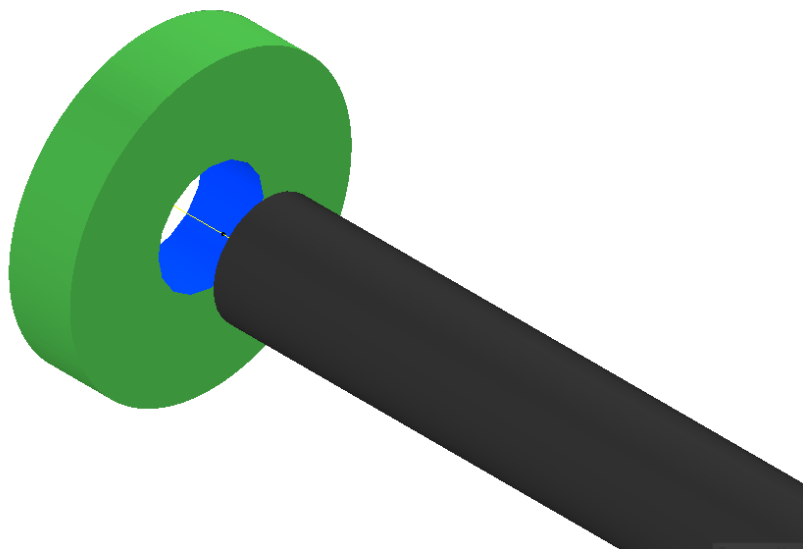


Рисунок 5.4 Свердління отвору Ø43

Далі підрізаємо торець начорно, начисто (Рис. 5.5).

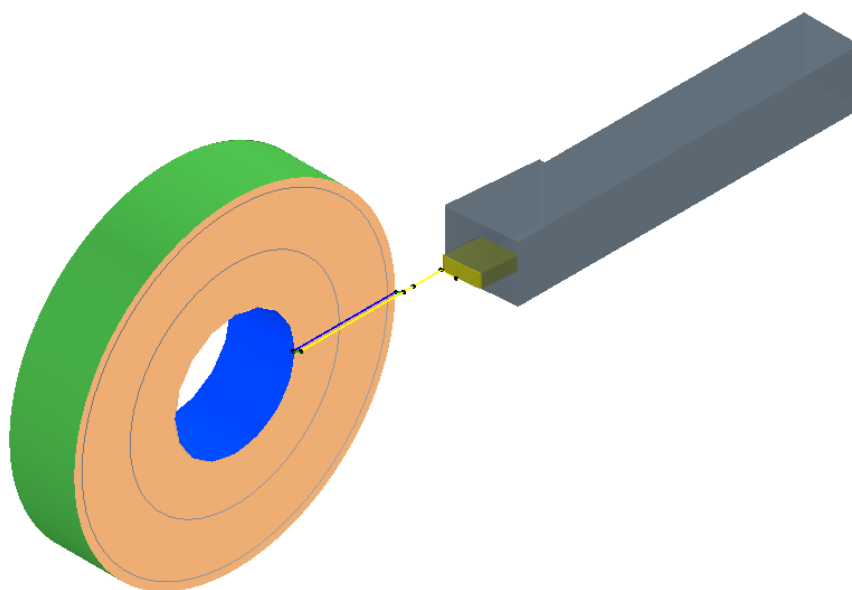


Рисунок 5.5 Підрізання торця

Далі виконуємо чорнове розточування отвору (Рис. 5.6).

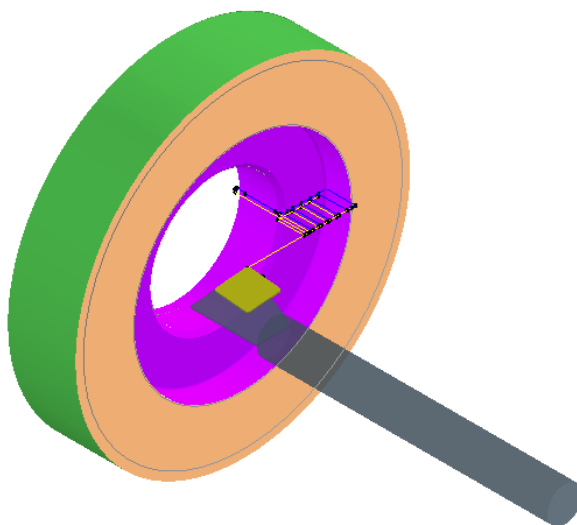


Рисунок 5.6 Чорнове розточування профілю
Потім виконуємо чистовий перехід (Рис. 5.7).

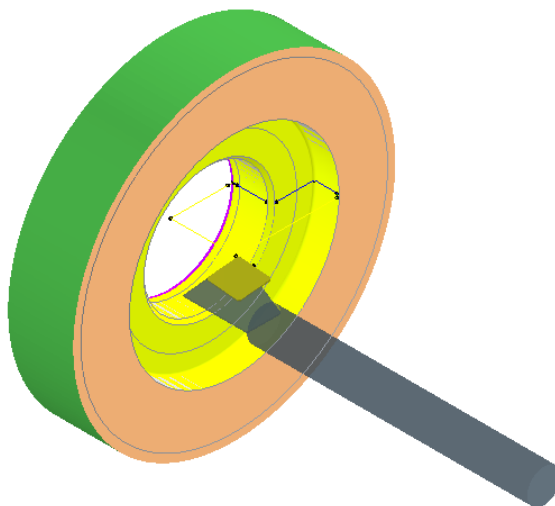


Рисунок 5.7 Чистове розточування профіля

Далі виконуємо точіння торцевої канавки для виходу шліфувального круга (Рис. 5.8).

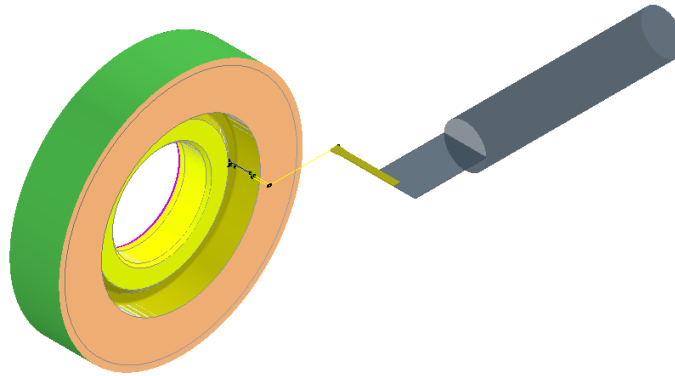


Рисунок 5.8 Розточування торцевої канавки

Далі виконується затиск заготовки в контршпіндель.

Виконуємо підрізання торця начорно, начисто (Рис. 5.9).

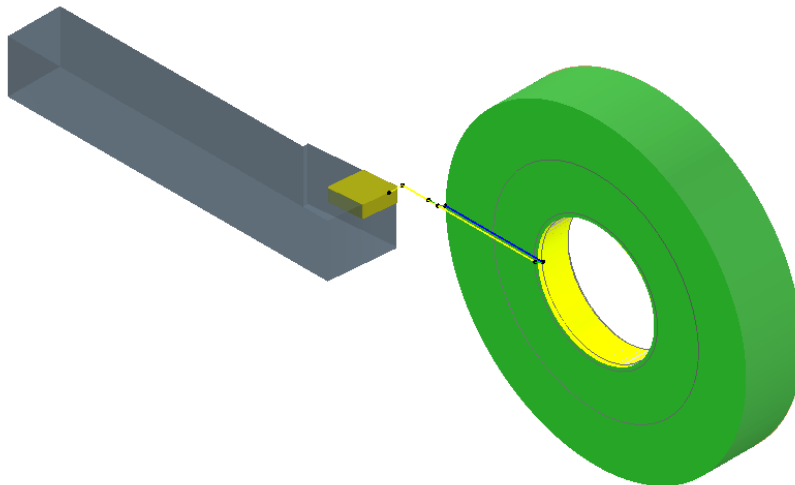


Рисунок 5.9 Підрізання торця

Потім виконується чорнове точіння профілю (Рис. 5.10).

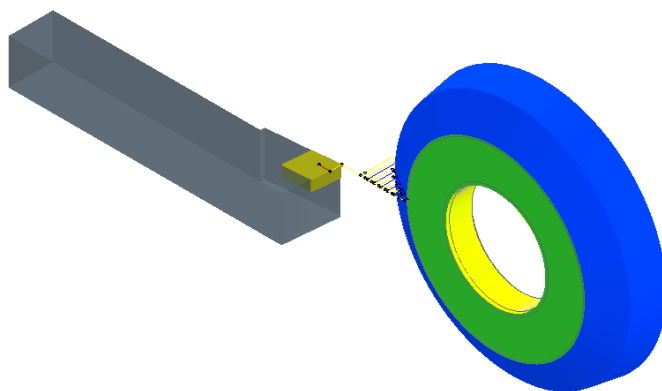


Рисунок 5.10 Чорнове точіння профілю

Далі виконується чистове точіння профілю (Рис. 5.11).

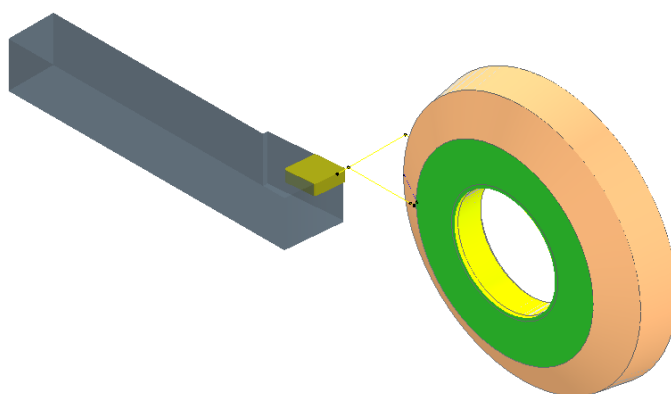


Рисунок 5.11 Чистове точіння профілю

На останньому переході виконується точіння фаски (Рис. 5.12).

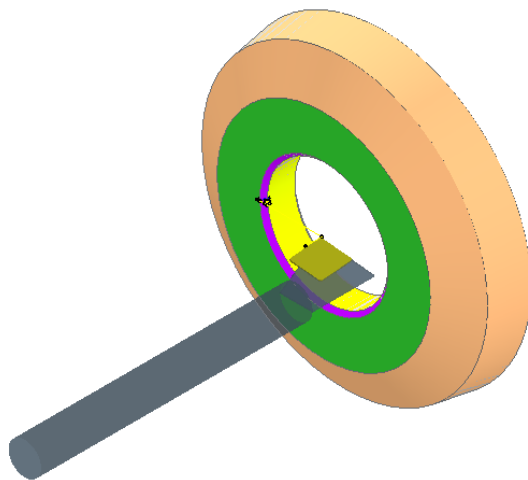


Рисунок 5.12 Точіння фаски

6. ПОНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

6.1. ХАРАКТЕР ЗНОШЕННЯ КОСОЗУБИХ ДОВБАЧІВ ДЛЯ ЗУБОТОЧІННЯ

В роботі [18] Ксендзов В. О. в результаті проведених експериментів визначив характер зношення косозубого довбача для зуботочіння (Рис. 6.1).

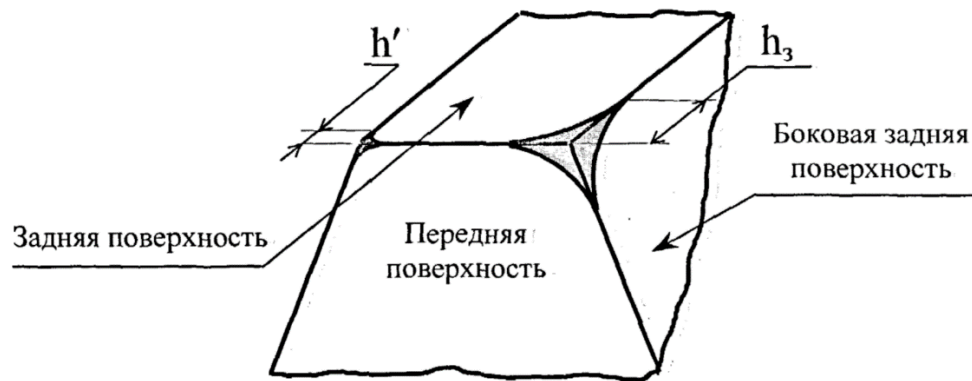


Рисунок 6.1 Характер зношення косозубого довбача для зуботочіння [18]

По передній поверхні, вздовж різальних кромek було видно сліди лунки зношення, по задній поверхні вдовж різальних кромek позначилися фаски зношення, але найбільшому зношенню піддавалися вершини зубів, причому, зношення вершини, яка вступала в різання другою (досягав 0.7-1.0 мм), був на порядок вище, ніж зношення іншої вершини (досягав 0.05-0.1 мм). Тому, очевидно що стійкість інструменту потрібно оцінювати по зношенню вершини яка вступає в різання другою [18].

За критерій затуплення була прийнята величина фаски зношення вершини зуба, який вступає в різання другим h_3 , рівна 0.7 мм [18].

Експерименти проведені в [18] показали, що не зважаючи на різноманітні комбінації параметрів різання (v , s , t , m , α , γ) та показану стійкість інструменту криві зношення мають одноманітний характер, а саме: в початковий, відносно короткий проміжок часу (час припрацювання, від декількох десятків секунд до 20 хвилин) спостерігається інтенсивне зношення інструменту, який при досягненні певного рівня (зношення припрацювання) призупиняється, швидкість зношення стабілізується та залишається постійною, аж до повного

затуплення довбача. При чому спостерігається деяка закономірність: чим більше період стійкості інструменту, тим більше час припрацювання, а зношення припрацювання менше [18].

Таким чином Ксендзов В. О. отримав залежність (6.1) для визначення стійкості інструменту при заданих параметрах різання:

$$T = \frac{m^{0.30} \times z_{\text{и}}^{1.65}}{4.06 \times \alpha_{\text{в}}^{0.73} \times v^{0.11} \times \gamma^{0.32} \times s^{0.82} \times t^{0.84} \times z_{\text{д}}^{0.30}} \quad (6.1)$$

6.2. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ТА СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ДАНИХ РЕЖИМАХ РІЗАННЯ

Розрахунок режимів різання виконаємо за методикою розробленою в [18].

Емпіричні формули отримані в [18], були отриманні при використанні довбача для зуботочіння виготовленого зі сталі Р6М5, тому їх можна застосовувати без змін. Параметри: модуль - $m=2.5$ мм, кількість зубів оброблюваного колеса - $z_{\text{д}}=92$, кількість зубів інструменту - $z_{\text{и}}=37$, кут нахилу зуба - $\beta=23^\circ$, задній кут при вершині зуба - $\alpha_{\text{в}}=9^\circ$,

1. Розрахунок швидкості різання

Спочатку обираємо наближене значення швидкості різання з інтервалу $v=10\dots30$ м/хв. Прийmemo $v=30$ м/хв.

Частоту обертів інструменту визначаємо по формулі (6.2):

$$n = \frac{1000v}{\pi \times d \times \sin \beta} \quad (6.2)$$

Де: d – максимальний діаметр кола виступів інструменту.

β – кут перехрещення вісей

Розрахуємо швидкість обертів інструменту:

$$n = \frac{1000 \times 30}{\pi \times 109.21 \times \sin(23^\circ)} = 223.78 \text{ об/хв}$$

Приймаємо кількість обертів інструменту $n=225$ об/хв

Швидкість різання визначимо за формулою (6.3) :

$$v = \frac{\pi \times d \times n \times \sin \beta}{1000} \quad (6.3)$$

Розрахуємо швидкість різання:

$$v = \frac{\pi \times 109.21 \times 225 \times \sin(23^\circ)}{1000} = 30.16 \text{ м/хв}$$

2. Подачу обираємо з діапазону $s=0.2\dots0.5$ мм/об, приймаємо $s=0.35$ мм/об.

3. Глибина різання. В якості стартового значення беремо максимально можливу глибину різання, тобто перевіряємо можливість обробки зубчатого вінця за 1 прохід.

$$t = \frac{d_a + d_f}{2}$$

Де: d_a – діаметр вершин зубчатого колеса;

d_f – діаметр впадин зубчатого колеса

Розрахуємо початкову глибину різання

$$t = \frac{235 + 223.75}{2} = 5.625 \text{ мм}$$

4. Складові сили різання визначається за формулами (6.4), (6.5), (6.6):

$$P_y = \frac{s^{0.51} \times t^{1.11} \times m^{0.75} \times z_d^{0.04}}{2.66 \times \beta^{0.21} \times z_n^{0.11}} \quad (6.4)$$

$$P_z = \frac{6.05 \times s^{0.53} \times t^{0.22} \times m^{0.78} \times z_d^{0.05}}{\beta^{0.56} \times z_n^{0.12}} \quad (6.5)$$

$$P_x = \frac{m^{0.96}}{46.06 \times \beta^{0.56}} \quad (6.6)$$

де: s – подача, t – глибина різання; m – модуль; z_d – кількість зубів оброблюваного колеса; β – кут перехрещення осей; z_n – кількість зубів інструменту.

Розрахуємо складові сили різання:

$$P_y = \frac{0.35^{0.51} \times 5.625^{1.11} \times 2.5^{0.75} \times 92^{0.04}}{2.66 \times 23^{0.21} \times 37^{0.11}} = 2.9 \text{ кН}$$

$$P_z = \frac{6.05 \times 0.35^{0.53} \times 5.625^{0.22} \times 2.5^{0.78} \times 92^{0.05}}{23^{0.56} \times 37^{0.12}} = 14.04 \text{ кН}$$

$$P_x = \frac{2.5^{0.96}}{46.06 \times 23^{0.56}} = 0.09 \text{ кН}$$

5. Потужність різання визначаємо по формулі (6.7):

$$N_e = P_z \times \frac{s \times v \times z_d}{\pi \times d \times z_{\text{и}} \times \tan \beta} + P_x \times \left(\frac{v}{\sin \beta} + \frac{s \times v \times z_d}{\pi \times d \times z_{\text{и}}} \right) \quad (6.7)$$

Де: P_z – вісєва складова сили різання; s – подача; v – швидкість різання; d – максимальний діаметр кола виступів інструменту; z_d – кількість зубів оброблюваного колеса; β – кут перехрещення осей; $z_{\text{и}}$ – кількість зубів інструменту; P_x – колова складова сили різання.

Розрахуємо потужність різання:

$$N_e = 14.04 \times \frac{0.35 \times 30.16 \times 92}{\pi \times 109.21 \times 37 \times \tan(23^\circ)} + 0.09 \times \left(\frac{30.05}{\sin(23^\circ)} + \frac{0.35 \times 30.16 \times 92}{\pi \times 109.21 \times 37} \right) = 7.33 \text{ кВт}$$

6. Необхідну потужність електродвигуна визначаємо по формулі (6.8):

$$N_{\text{ед}} = \frac{N_e}{\eta} \quad (6.8)$$

Де: η – ккд двигуна верстата.

7. Стійкість інструменту при обраних параметрах визначаємо по формулі (6.1):

$$T = \frac{2.5^{0.30} \times 37^{1.65}}{4.06 \times 9^{0.73} \times 30.16^{0.11} \times 5^{0.32} \times 0.35^{0.82} \times 5.625^{0.84} \times 92^{0.30}} = 107.08 \text{ хв}$$

Стійкість інструменту, рівна 64.59 хв явно недостатня, необхідно уточнити якийсь із трьох параметрів (або одночасно дві, чи три): швидкість різання v , подачу s , чи глибину різання t із умову стійкості інструменту в 240 хв за ГОСТ 9323-79.

Приймаємо що будемо змінювати глибину різання. Визначимо необхідну глибину різання з урахуванням необхідної стійкості інструменту за формулою (6.9):

$$t = \sqrt[0.84]{\frac{m^{0.30} \times z_{\text{и}}^{1.65}}{4.06 \times \alpha v^{0.73} \times v^{0.11} \times \gamma^{0.32} \times s^{0.82} \times T \times z_d^{0.30}}} \quad (6.9)$$

Розрахуємо необхідну глибину різання:

$$t = \sqrt[0.84]{\frac{2.5^{0.30} \times 37^{1.65}}{4.06 \times 9^{0.73} \times 30.16^{0.11} \times 5^{0.32} \times 0.35^{0.82} \times 240 \times 92^{0.30}}} \\ = 1.72 \text{ мм}$$

Визначимо необхідну кількість проходів за формулою (6.10):

$$i = \frac{t_{\pi}}{t_y} \quad (6.10)$$

Де: t_{π} – попереднє значення глибини різання, t_y – уточнене значення глибини різання.

$$i = \frac{5.625}{1.72} = 3.28$$

Приймаємо кількість проходів $i=3$

Уточнюємо глибину різання з урахуванням кількості проходів інструменту за формулою (6.11):

$$t_{\text{ост}} = \frac{t_{\pi}}{i} \quad (6.11) \\ t_{\text{ост}} = \frac{5.625}{3} = 1.88 \text{ мм}$$

Розрахуємо остаточний період стійкості інструменту:

$$T = \frac{2.5^{0.30} \times 37^{1.65}}{4.06 \times 9^{0.73} \times 30.16^{0.11} \times 5^{0.32} \times 0.35^{0.82} \times 1.88^{0.84} \times 92^{0.30}} \\ = 269.46 \text{ хв}$$

Поновлення працездатності відбувається шляхом шліфування передньої поверхні після того як інструмент пропрацював розрахований час при заданих режимах роботи.

Після цього з передньої поверхні видаляють шар матеріалу рівний величині критерію затуплення, а саме 0.7 мм.

Заточування відбувається в спеціальному пристосуванні (Рис. 6.2)

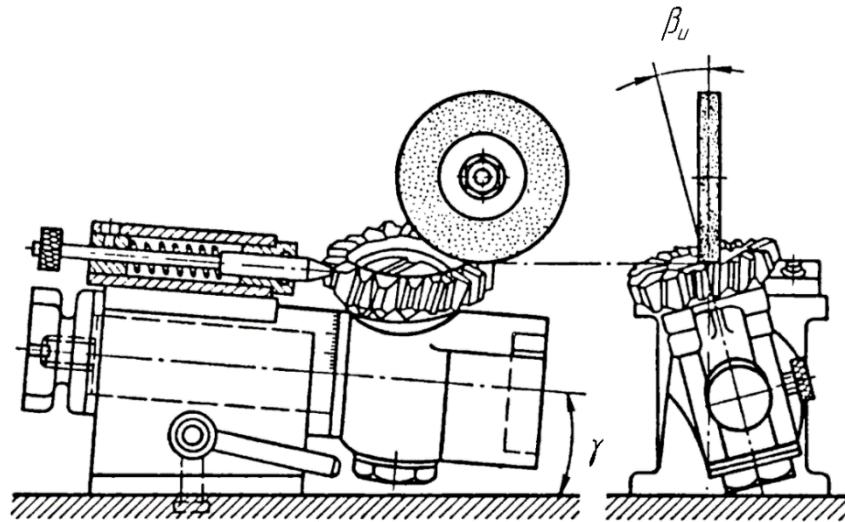


Рисунок 6.2 Заточування передньої поверхні косозубого довбача [19]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников А. С. Современные тенденции развития технологии обкатного зубочечения / А. С. Калашников, Ю. А. Моргунов, П. А. Калашников. // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – №1. – С. 248–250.
2. Sandvik. CoroMill® 178 [Электронный ресурс] / Sandvik – Режим доступа до ресурсу: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coromill_178/Pages/default.aspx?Country=ua.
3. Кирютин А. С. Обкаточные резцы. применение, конструктивные особенности, уникальность / А. С. Кирютин. // материалы 77-й международной научно-технической конференции ААИ – 2012.
4. Gleason. Power Skiving Tools [Электронный ресурс] / Gleason – Режим доступа до ресурсу: <https://www.gleason.com/en/products/tools/cylindrical/power-skiving/power-skiving-tools>.
5. Sandvik. CoroMill® 180 [Электронный ресурс] / Sandvik – Режим доступа до ресурсу: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coromill_180/Pages/default.aspx.
6. Крупина И. П. Расчет инструментов для производства зубчатых колес, шлицевых валов и втулок / И. П. Крупина. – Челябинск, 2008.
7. McCloskey P. Virtual Model of Power Skiving Cutting Mechanics / Pierce McCloskey. – Waterloo, Ontario, Canada, 2019.
8. Справочник инструментальщика-конструктора / [В. И. Климов, А. С. Лернер, М. Д. Пекарский та ін.]. – Москва, Свердловск: "Машгиз", 1958.

9. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну. Частина I. / В. І. Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
10. Цвис Ю. В. Профилирование режущего обкатного инструмента / Ю. В. Цвис. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961.
11. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / П. Р. Родин. – Киев: "Вища школа", 1986.
12. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога. – Суми: Сумський державний університет, 2013.
13. Технологія інструментально виробництва / Н. С. Равська, П. П. Мельничук, А. Г. Касьянов, Р. П. Родін. – Житомир: ЖІТІ, 2001.
14. Косилова А. Г. Точность обработки и припуски в машиностроении / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, М. А. Калиним. – Москва: "Машиностроение", 1976.
15. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя Т.2 / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков., 1985.
16. Вульф А. В. Резание металлов / А. В. Вульф., 1973.
17. Haas. Haas DS-30Y [Електронний ресурс] / Haas – Режим доступу до ресурсу: <https://www.haascnc.com/ru/machines/lathes/dual-spindle/models/ds-30y.html>.
18. Ксндзов В. О. Совершенствование технологического обеспечения изготовления внутренних венцов методом зуботочения : дис. канд. техн. наук / Ксндзов В. О. – Барнаул, 2004.

19. Дибнер Л. Г. Справочник молодого заточника металлорежущего инструмента / Л. Г. Дибнер. – Москва: "Высшая школа", 1990.

ДОДАТКИ

1. Задаємо параметри оброблюваного зубчатого колеса

$$m := 2.5 \quad - \text{МОДУЛЬ}$$

$$z_K := 92 \quad - \text{КІЛЬКІСТЬ ЗУБІВ}$$

$$\xi_1 := 0 \quad - \text{КОЕФІЦІЄНТ КОРЕКЦІЇ}$$

$$\alpha := 20 \cdot \text{deg} \quad - \text{КУТ ЗАЧЕПЛЕННЯ}$$

$$r_i := 111.875 \quad - \text{РАДІУС КОЛА ВПАДИН}$$

$$r_{\text{вн}} := 117.5 \quad - \text{РАДІУС КОЛА ВИСТУПІВ}$$

2. Обираємо вихідні параметри інструменту

$$\beta_H := 23 \text{deg} \quad - \text{КУТ НАХИЛУ ЗУБІВ}$$

$$z_H := 37 \quad - \text{КІЛЬКІСТЬ ЗУБІВ ІНСТРУМЕНТУ}$$

$$\xi_2 := 0 \quad - \text{КОЕФІЦІЄНТ КОРЕКЦІЇ ІНСТРУМЕНТУ}$$

$$\alpha_B := 9 \cdot \text{deg} \quad - \text{ЗАДНІЙ КУТ ПРИ ВЕРШИНІ}$$

3. Виконуємо розрахунок постійних величин

$$\xi := \xi_1 + \xi_2 = 0 \quad - \text{СУМАРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ КОРЕКЦІЇ}$$

$$i := \frac{z_K}{z_H} = 2.486 \quad - \text{ПЕРЕДАТНЕ ВІДНОШЕННЯ}$$

$$A := m \cdot \left(\frac{z_K}{2} + \frac{z_H}{2 \cdot \cos(\beta_H)} + \xi \right) = 165.244 \quad - \text{МІЖОСЬОВА ВІДСТАНЬ}$$

$$r_O := \frac{m \cdot z_K}{2} \cdot \cos(\alpha) = 108.065 \quad - \text{РАДІУС ОСНОВНОГО КОЛА}$$

$$v := \beta_H = 23 \cdot \text{deg} \quad - \text{КУТ ПЕРЕХРЕЩЕННЯ ВІСЕЙ}$$

$$K := \frac{(1 + i \cdot \cos(v)) \cdot r_O}{i \cdot A \cdot \cos(v) \cdot \cos(\alpha)} = 1 \quad - \text{ПОСТІЙНА ВЕЛИЧИНА K}$$

$$\sigma_0 := \frac{\pi}{2 \cdot z_K} - (\tan(\alpha) - \alpha) = 0.002 \quad - \text{ПОСТІЙНИЙ КУТ } \sigma_0$$

$$r_{\text{ен}} := A - r_i = 53.369 \quad - \text{ЗОВНІШНІЙ РАДІУС ІНСТРУМЕНТУ}$$

4. Виконуємо розрахунок точок профілю інструменту

Задаємо початкове та кінцеве значення кутів тиску:

$$\underline{A1} := 0 \text{deg} \qquad \underline{B1} := 45 \cdot \text{deg}$$

$k := 99$ - кількість розрахункових точок

$$\alpha_X := A1, A1 + \frac{B1 - A1}{k} .. B1 \quad - \text{індексована змінна кутів тиску}$$

Визначаємо відповідні до кутів радіуси точок профілю виробу:

$$\rho(\alpha_X) := \left(\frac{r_o}{\cos(\alpha_X)} \right)$$

Вводимо всі позначення необхідні для розв'язку рівняння:

$$F = (x - A) \cdot \tan(v) \cdot \sin(\varphi_{II}) - (1 - \cos(\varphi_{II})) \cdot \sin(v) \cdot y - \cos(v) \cdot (1 + \tan(v)^2 \cdot \cos(\varphi_{II})) \cdot z$$

$$\omega(\alpha_X, \psi) := \psi + \alpha_X$$

$$\underline{x}(\alpha_X, \psi) := \rho(\alpha_X) \cdot \cos(\psi)$$

$$y(\alpha_X, \psi) := \rho(\alpha_X) \cdot \sin(\psi)$$

$$z(\alpha_X, \psi) := \csc(\omega(\alpha_X, \psi)) \cdot A \cdot \cot(v) \cdot (K \cdot \cos(\alpha) - \cos(\omega(\alpha_X, \psi)))$$

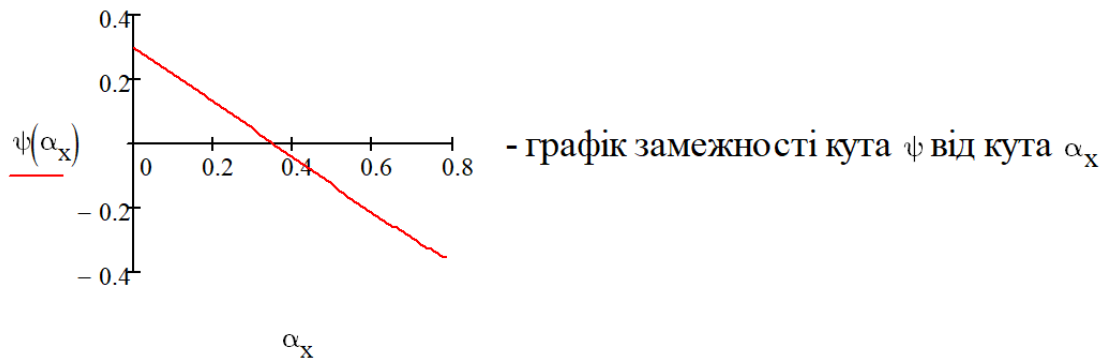
$$\varphi(\alpha_X, \psi) := \psi - (\tan(\alpha_X) - \alpha_X) - \sigma_0$$

$$\varphi_{II}(\alpha_X, \psi) := i \cdot \varphi(\alpha_X, \psi) \quad +$$

$$\underline{F}(\alpha_X, \psi) := \left[(x(\alpha_X, \psi) - A) \cdot \tan(v) \cdot \sin(\varphi_{II}(\alpha_X, \psi)) - (1 - \cos(\varphi_{II}(\alpha_X, \psi))) \cdot \sin(v) \cdot y(\alpha_X, \psi) \right] \dots \\ + 0 - \cos(v) \cdot (1 + \tan(v)^2 \cdot \cos(\varphi_{II}(\alpha_X, \psi))) \cdot z(\alpha_X, \psi)$$

$$\psi := 5 \cdot \text{deg} \quad - \text{початкове наближення кута } \psi$$

$$\underline{\psi}(\alpha_X) := \text{root}(F(\alpha_X, \psi), \psi) \quad - \text{знаходження значень кутів } \psi \text{ для відповідних кутів } \alpha_X$$



5. Знаючи значення кута x , y , z , φ_{IP} при відповідних кутах ψ та α_X визначаємо координати точок різальної кромки інструменту в системі X_{IP} Y_{IP} Z_{IP}

$j := 0 \dots k$

$$\alpha_{X_j} := A1 + \frac{B1 - A1}{k} \cdot j \quad - \text{вводимо індексовану змінну}$$

Виконуємо повторний розрахунок за допомогою індексованої змінної

$$\rho_j := \left(\frac{r_0}{\cos(\alpha_{X_j})} \right)$$

$$x_j := \rho_j \cdot \cos(\psi(\alpha_{X_j}))$$

$$y_j := \rho_j \cdot \sin(\psi(\alpha_{X_j}))$$

$$\omega_j := \psi(\alpha_{X_j}) + \alpha_{X_j}$$

$$z_j := \csc(\omega_j) \cdot A \cdot \cot(v) \cdot (K \cdot \cos(\alpha) - \cos(\omega_j))$$

$$\varphi_j := \psi(\alpha_{X_j}) - (\tan(\alpha_{X_j}) - \alpha_{X_j}) - \sigma_0$$

$$\varphi_{IP_j} := i \cdot \varphi_j$$

Розраховуємо координати точок різальної кромки інструменту в системі X_{IP} Y_{IP} Z_{IP}

$$A_{1j} := x_j - A \quad B_{1j} := y_j \cdot \cos(v) - z_j \cdot \sin(v)$$

$$X_{H_j} := A_{1_j} \cdot \cos(\varphi_{H_j}) - B_{1_j} \cdot \sin(\varphi_{H_j})$$

$$Y_{H_j} := A_{1_j} \cdot \sin(\varphi_{H_j}) + B_{1_j} \cdot \cos(\varphi_{H_j})$$

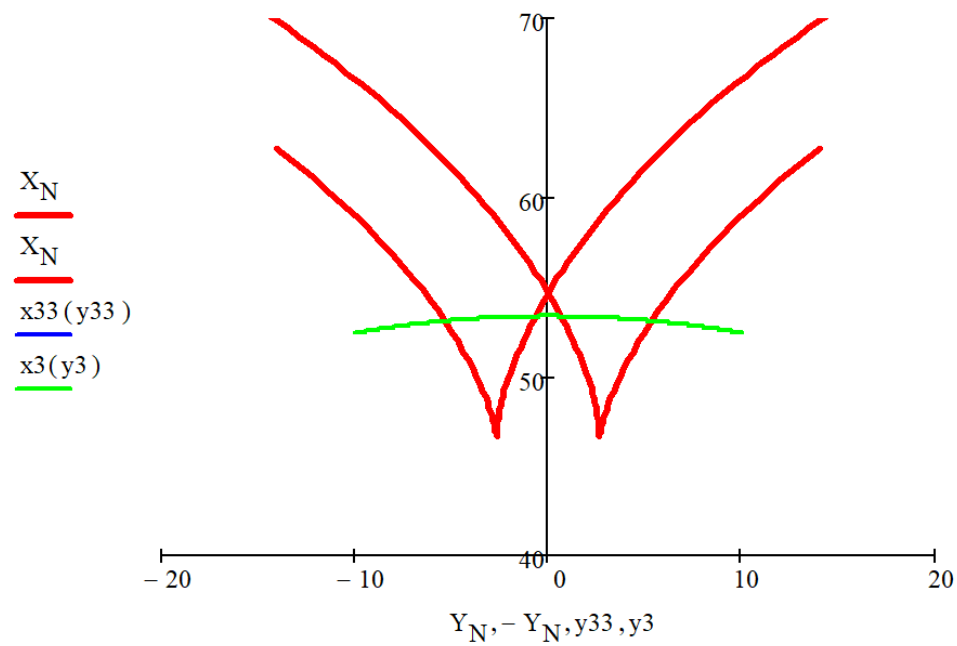
$$Z_{H_j} := y_j \cdot \sin(v) + z_j \cdot \cos(v)$$

Визначаємо координати точок профілю інструменту в нормальному перерізі

$$X_{N_j} := -X_{H_j}$$

$$Y_{N_j} := \frac{Y_{H_j}}{\cos(\beta_H)}$$

Профіль зуба в нормальному перерізі:

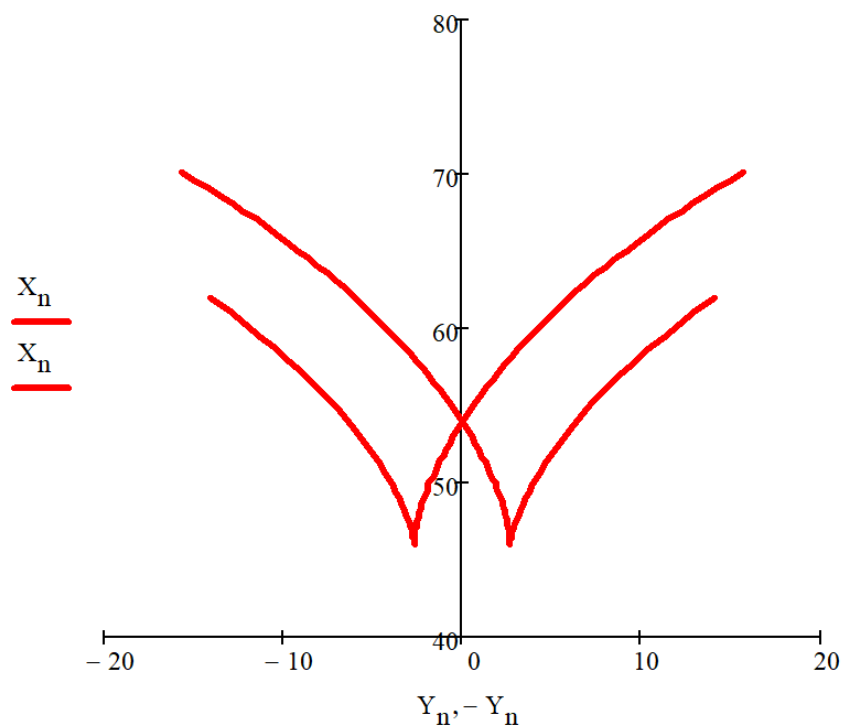


Визначайомо координати токок профілю зуба інструмента в перерізі, перпендикулярному до напрямку зуба з урахуванням заднього кута при вершині α_B

$$X_{n_j} := X_{N_j} \cdot \cos(\alpha_B)$$

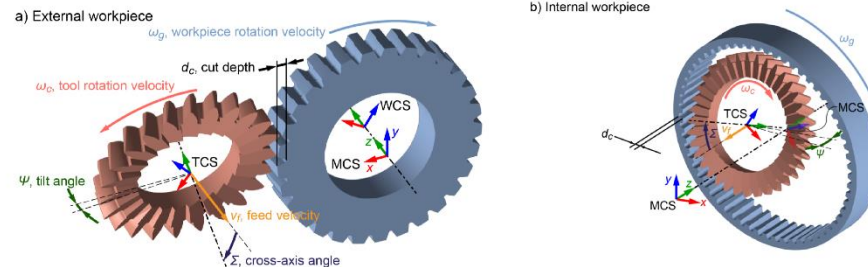
$$Y_{n_j} := Y_{N_j}$$

Профіль зуба в перетині, перпендикулярному до напрямку зуба



Огляд конструкції довідачів для зуботочіння

Схема зуботочіння
зубчатих вінців:
а) зовнішніх
б) внутрішніх



За типом конструкції

Цільні

- + Більш точні
- складніші у виготовленні



Збірні

- + Можливість виготовлення великогабаритного інструменту
- + дешевші та простіші у виготовленні
- менш точні



За матеріалом різальної частини

Стальні

- + Дешевші у порівнянні з твердосплавними
- Низькі швидкості різання (до 30 м/хв)



Твердосплавні

- + Великі швидкості різання (до 200 м/хв)
- Ділова ціна у порівнянні зі стальними
- неможливість виготовлення крупногабаритного інструменту



За формою кріпильної частини

Хвостові

- Використовуються для дрібного інструменту



Кріплення на оправці

- Використовується для крупногабаритного інструменту



За формою зуба

Прямозубі

- + Простіші у виготовленні
- неможливо оброблювати прямозубі колеса



Косозубі

- + Можливо оброблювати як прямозубі так і косозубі колеса
- складніші у виготовленні

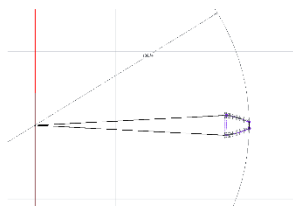


Етапи побудови 3Д моделі за допомогою автоматизованої системи проектування Autodesk Inventor

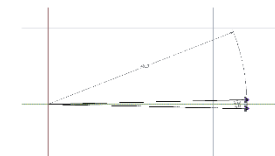
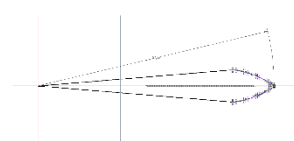
1. Точки різальної кромки інструменту визначені за допомогою Mathcad заносимо в Excel

Номер точки	Х	У	З
1	0	0	0
2	10	10	0
3	20	20	0
4	30	30	0
5	40	40	0
6	50	50	0
7	60	60	0
8	70	70	0
9	80	80	0
10	90	90	0
11	100	100	0
12	110	110	0
13	120	120	0
14	130	130	0
15	140	140	0
16	150	150	0
17	160	160	0
18	170	170	0
19	180	180	0
20	190	190	0
21	200	200	0
22	210	210	0
23	220	220	0
24	230	230	0
25	240	240	0
26	250	250	0
27	260	260	0
28	270	270	0
29	280	280	0
30	290	290	0
31	300	300	0
32	310	310	0
33	320	320	0
34	330	330	0
35	340	340	0
36	350	350	0
37	360	360	0
38	370	370	0
39	380	380	0
40	390	390	0
41	400	400	0
42	410	410	0
43	420	420	0
44	430	430	0
45	440	440	0
46	450	450	0
47	460	460	0
48	470	470	0
49	480	480	0
50	490	490	0
51	500	500	0
52	510	510	0
53	520	520	0
54	530	530	0
55	540	540	0
56	550	550	0
57	560	560	0
58	570	570	0
59	580	580	0
60	590	590	0
61	600	600	0
62	610	610	0
63	620	620	0
64	630	630	0
65	640	640	0
66	650	650	0
67	660	660	0
68	670	670	0
69	680	680	0
70	690	690	0
71	700	700	0
72	710	710	0
73	720	720	0
74	730	730	0
75	740	740	0
76	750	750	0
77	760	760	0
78	770	770	0
79	780	780	0
80	790	790	0
81	800	800	0
82	810	810	0
83	820	820	0
84	830	830	0
85	840	840	0
86	850	850	0
87	860	860	0
88	870	870	0
89	880	880	0
90	890	890	0
91	900	900	0
92	910	910	0
93	920	920	0
94	930	930	0
95	940	940	0
96	950	950	0
97	960	960	0
98	970	970	0
99	980	980	0
100	990	990	0
101	1000	1000	0

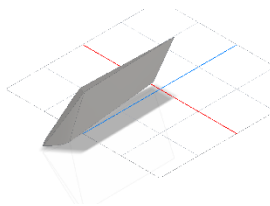
2. За допомогою команди "Вставити" – "Точки" додаємо точки різальної кромки та з'єднуємо їх сплайном



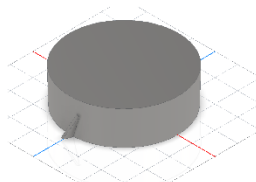
3. Проводимо аналогічні дії в інших перерізах



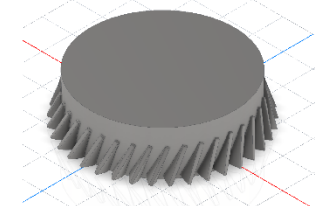
4. За допомогою команди "Лофт" створюємо зуб



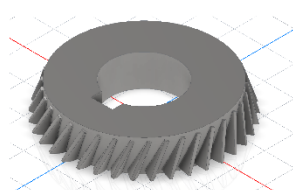
5. За допомогою команди "Вращение" створюємо тіло інструменту



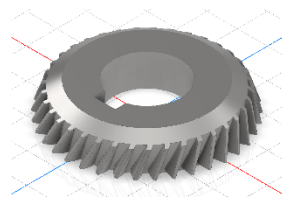
6. За допомогою команди "Круговой массив" створюємо необхідну кількість зубів



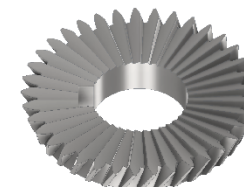
7. Створюємо центральний отвір та шпунковий паз



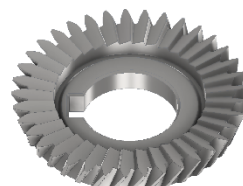
8. Створюємо фаску

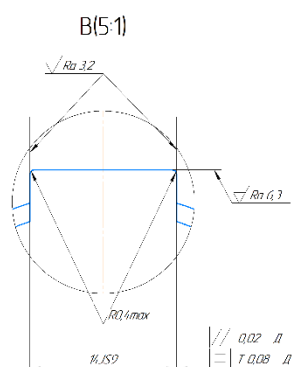
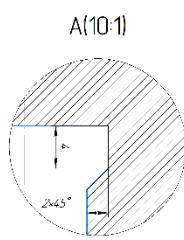
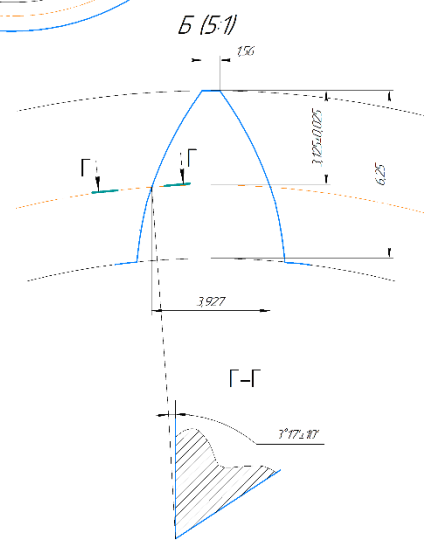
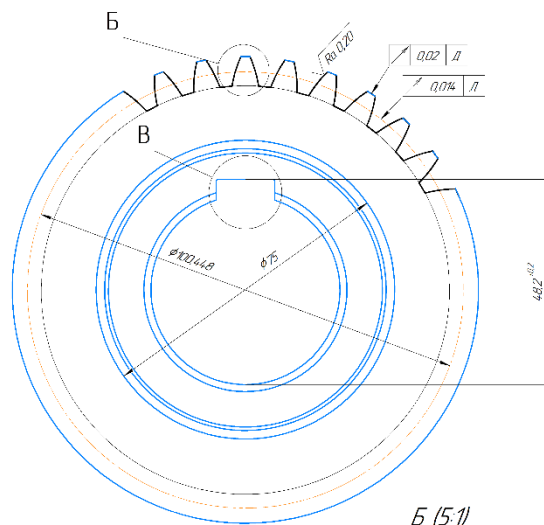
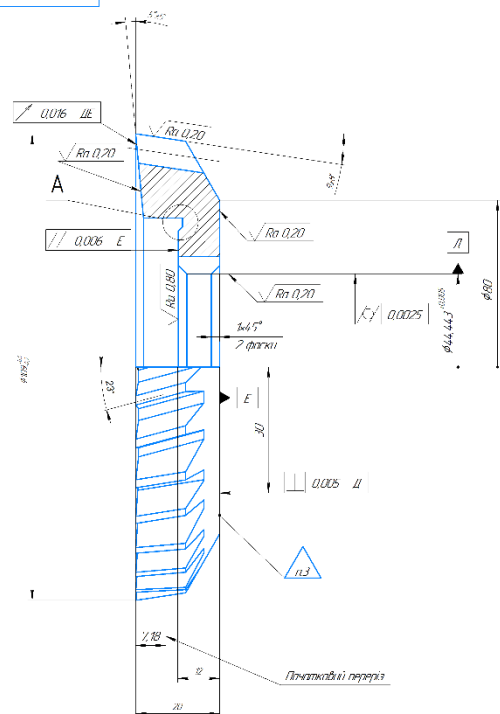


9. За допомогою операцій "Выдавливание" та "Круговой массив" створюємо передню поверхню інструменту



9. Операцією "Вращение" створюємо внутрішній опорний торець та розточку отвору





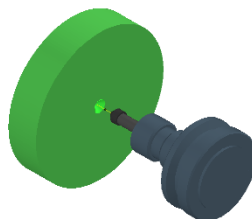
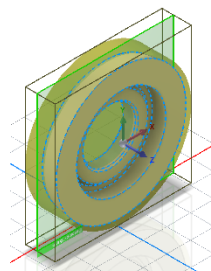
Модуль нерегулярності	mm	25
Кулі нерегулярні	а°	20
Число зубів додатків	z0	37
Нормований діаметр діаметру mm	mm	100
Діаметр діаметру в основному просторі	mm	100/1,68
Кулі нерегулярні зубів mm	б	25
Таблиця зубів до 25 mm в початковому просторі mm	б	3,927
Висота конуса зубів в початковому просторі mm	mm	3,125
Висота конуса зубів в початковому просторі mm	mm	3,125
Степень точності додатків		A
Помилка профілю mm	mm	5
Різниця сучасних конусів кроку mm	mm	6
Нормована помилка конусів кроку mm	mm	18

1. HRC, 63,66
2. ЛПТ4.150 2768 - А1
3. Клеймента $m=25$; $z=37$; $\alpha=20^\circ$; A ; $\beta_0=23^\circ$; P6MS, токарный знак
забыл вывернуть
4. Небесная пудра 25 мм

[illegible]

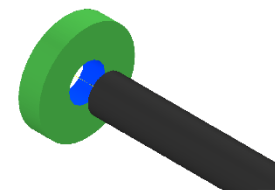
Розробка керуючої програми на токарну операцію з ЧПК

1-й установ. Головний шпиндель Центрування отвору



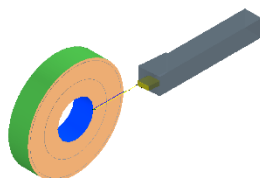
N16 T101
N17 G98
N18 M22
N19 G97 S382 M3
N20 G54
N21 M8
N22 G0 X0. Z15.
N23 G0 Z5.
N24 G81 X0. Z-5. R5. F38.1972
N25 G80
N26 Z15.
N27 M9
N28 G53 X0.

Свердління отвору



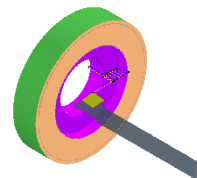
N29 M1
N30 T202
N31 G98
N32 M22
N33 G97 S119 M3
N34 G54
N35 G0 X0. Z15.
N36 G0 Z5.
N37 G81 X0. Z-4.0. R5. F53.445
N38 G80
N39 Z15.
N40 G53 X0.

Підрізання торця



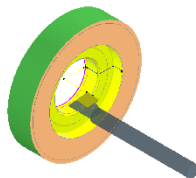
N41 M1
N42 T300
N43 G99
N44 M22
N45 G97 S307 M3
N46 G54
N47 M8
N48 G0 X14.5. Z5.
N49 G50 S4500
N50 G96 S140 M3
N51 G0 Z-0.031
N52 X125.
N53 G1 X117.828 F12.
N54 X115. Z-14.45
N55 X4.14 F0.23
N56 X44.228 Z-0.031 F12.
N57 G0 X125.
N58 Z-0.331
N59 G1 X117.828 F12.
N60 X115. Z-17.45
N61 X4.14 F0.05
N62 X44.228 Z-0.331 F12.
N63 G0 X14.5.
N64 Z5.
N65 G97 S307 M3
N66 M9
N67 G53 X0.

Чорнове розточування отвору



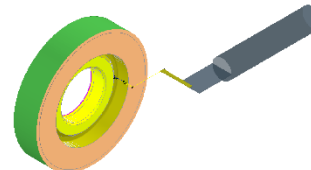
N68 M1
N69 T400
N70 G99
N71 M22
N72 G97 S4500 M3
N73 G54
N74 M8
N75 G0 X0. Z5.
N76 G50 S4500
N77 G96 S140 M3
N78 G0 Z-0.245
N79 X4.5.
N80 G1 Z-1158 F0.23
N81 X43.762 Z-12.199
N82 Z-22.703
N83 X44.312 Z-25.848
N84 Z-25.87
N85 X43.006
N86 X41.006 Z-24.87
N87 G0 Z-0.245
N88 X51.
N89 G1 Z-10.355 F0.23
N90 X4.7451
N91 X4.5. Z-1158
N92 X4.3. Z-10.58
N93 G0 Z-0.245
N94 X57.
N95 G1 Z-10.355 F0.23
N96 X51.
N97 X4.9. Z-9.355
N98 G0 Z-0.245
N99 X63.
N100 G1 Z-10.355 F0.23
N101 X57.
N102 X55. Z-9.355
N103 G0 Z-0.245
N104 X68.7
N105 G1 Z-10.355 F0.23
N106 X63.
N107 X61 Z-9.355
N108 G0 Z-0.245
N109 X714.
N110 G1 X74.4 F0.23
N111 Z-10.355
N112 X68.7
N113 X66.7 Z-9.355
N114 G0 X39.
N115 Z-0.245
N116 X0.
N117 Z5.
N118 G97 S4500 M3

Чистове розточування отвору



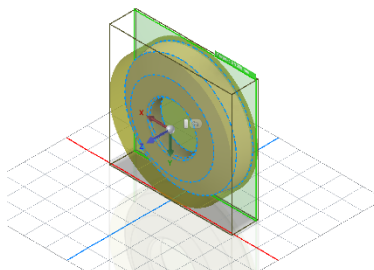
N119 G0 X0. Z5.
N120 G50 S4500
N121 G96 S140 M3
N122 G0 Z-1.131
N123 X72.172
N124 G1 X75. Z-2.545 F12.
N125 Z-10.655 F0.05
N126 X4.7699
N127 X44.362 Z-12.324
N128 Z-22.69
N129 X44.613 Z-24.125
N130 Z-24.425 F12.
N131 X40.659
N132 G0 X0.
N133 Z5.
N134 G97 S4500 M3
N135 M9
N136 G53 X0.

Розточування торцевої канавки

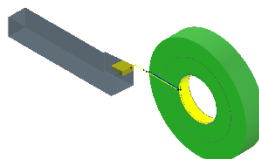


N137 M1
N138 T500
N139 G99
N140 M22
N141 G97 S146 M3
N142 G54
N143 M8
N144 G0 X131. Z7.
N145 G50 S4500
N146 G96 S60 M3
N147 G0 X64.882
N148 Z-0.452
N149 G1 Z-8.664 F12.
N150 X64.49 Z-10.655
N151 X65. Z-10.909 F0.07
N152 X62.6
N153 Z-11.124
N154 X66.063 Z-12.855
N155 X67.
N156 Z-2.545
N157 Z-0.545 F12.
N158 G0 Z7.
N159 X131.
N160 G97 S146 M3
N161 G97 S4500 M3
N162 M9
N163 G53 X0.

2-й устан. Контр шпindelь

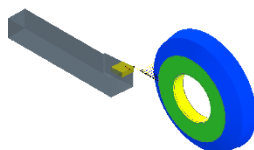


Підрізання торця



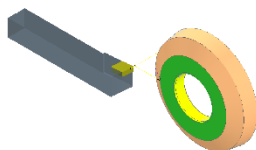
N164 M1
N165 T300
N166 G99
N167 G97 P307 M14.3
N168 G54
N169 M8
N170 G0 X145. Z5.
N171 G50 S4500
N172 G96 P140 M14.3
N173 G0 Z-0.031
N174 X125.
N175 G1 X117.828 F12.
N176 X115. Z-1445
N177 X40.4 F0.23
N178 X4.3228 Z-0.031 F12.
N179 G0 X125.
N180 Z-0.331
N181 G1 X117.828 F12.
N182 X115. Z-1745
N183 X40.4 F0.05
N184 X4.3228 Z-0.331 F12.
N185 G0 X145.
N186 Z5.
N187 G97 P307 M14.3

Чорнове точіння профілю



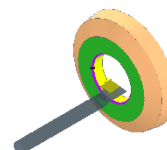
N188 G0 X135. Z5.
N189 G50 S4500
N190 G96 P140 M14.3
N191 G0 Z-0.245
N192 X112.
N193 G1 Z-23.93 F0.23
N194 X118.
N195 G0 Z-0.245
N196 X106.
N197 G1 Z-10.709 F0.23
N198 X110.188 Z-23.93
N199 X112.
N200 X114. Z-22.93
N201 G0 Z-0.245
N202 X100.
N203 G1 Z-7.91 F0.23
N204 X104.719 Z-9.273
N205 G18 G3 X105.792 Z-10.053 I-0.55 K-0.953
N206 G1 X106. Z-10.709
N207 X108. Z-9.709
N208 X108.34 Z-9.54 F12.1557
N209 G0 Z-0.245
N210 X94.
N211 G1 Z-6.178 F0.23
N212 X100. Z-7.91
N213 X102. Z-6.91
N214 G0 Z-0.245
N215 X88.
N216 G1 Z-4.446 F0.23
N217 X94. Z-6.178
N218 X96. Z-5.178
N219 G0 Z-0.245
N220 X83.507
N221 G1 Z-3.149 F0.23
N222 X88. Z-4.446
N223 X90. Z-3.446
N224 G0 Z-0.245
N225 X79.014
N226 G1 Z-1852 F0.23
N227 X83.507 Z-3.149
N228 X85.507 Z-2.149
N229 G0 X118.
N230 Z-0.245
N231 X135.
N232 Z5.
N233 G97 P330 M14.3

Чистове точіння профілю



N234 G0 X135. Z5.
N235 G50 S4500
N236 G96 P140 M14.3
N237 G0 Z0.08
N238 X80.106
N239 G1 X76.779 F12.
N240 X77.814 Z-1852
N241 X105.08 Z-9.723 F0.05
N242 X109.58 Z-23.93
N243 X112.816 Z-25.105 F12.
N244 X112.818
N245 G0 X135.
N246 Z5.
N247 G97 P330 M14.3
N248 M9
N249 G53 X0.

Точіння фаски



N250 M1
N251 T400
N252 G99
N253 G97 P4500 M14.3
N254 G54
N255 M8
N256 G0 X0. Z5.
N257 G50 S4500
N258 G96 P140 M14.3
N259 G0 Z-0.995
N260 X40.5
N261 Z-1062
N262 X4.5565
N263 G1 Z-3.012 F0.23
N264 X4.4419 Z-3.585
N265 X4.2419 Z-2.585
N266 G0 Z-0.995
N267 X46.131
N268 G1 X4.7631 F0.23
N269 Z-1979
N270 X4.5565 Z-3.012
N271 X4.3565 Z-2.012
N272 G0 X40.5
N273 Z-0.995
N274 X0.
N275 Z5.
N276 G97 P4500 M14.3

%

O1001

N10 G98 G18

N11 G21

N12 G50 S6000

N13 G50 P6000

N14 M31

N15 G53 G0 X0.

(Центрування отвору)

N16 T101

N17 G98

N18 M22

N19 G97 S382 M3

N20 G54

N21 M8

N22 G0 X0. Z15.

N23 G0 Z5.

N24 G81 X0. Z-5. R5. F38.1972

N25 G80

N26 Z15.

N27 M9

N28 G53 X0.

(Свердління отвору)

N29 M1

N30 T202

N31 G98

N32 M22

N33 G97 S119 M3

N34 G54

N35 G0 X0. Z15.

N36 G0 Z5.

N37 G81 X0. Z-40. R5. F53.445

N38 G80

N39 Z15.

N40 G53 X0.

(Підрізання торця)

N41 M1

N42 T300

N43 G99

N44 M22

N45 G97 S307 M3

N46 G54

N47 M8

N48 G0 X145. Z5.

N49 G50 S4500

N50 G96 S140 M3

N51 G0 Z-0.031

N52 X125.

N53 G1 X117.828 F12.

N54 X115. Z-1.445

N55 X41.4 F0.23

N56 X44.228 Z-0.031 F12.

N57 G0 X125.

N58 Z-0.331
N59 G1 X117.828 F12.
N60 X115. Z-1.745
N61 X41.4 F0.05
N62 X44.228 Z-0.331 F12.
N63 G0 X145.
N64 Z5.
N65 G97 S307 M3
N66 M9
N67 G53 X0.

(Чорнове розточування отвору)
N68 M1
N69 T400
N70 G99
N71 M22
N72 G97 S4500 M3
N73 G54
N74 M8
N75 G0 X0. Z5.
N76 G50 S4500
N77 G96 S140 M3
N78 G0 Z-0.245
N79 X45.
N80 G1 Z-11.58 F0.23
N81 X43.762 Z-12.199
N82 Z-22.703
N83 X44.312 Z-25.848

N84 Z-25.87
N85 X43.006
N86 X41.006 Z-24.87
N87 G0 Z-0.245
N88 X51.
N89 G1 Z-10.355 F0.23
N90 X47.451
N91 X45. Z-11.58
N92 X43. Z-10.58
N93 G0 Z-0.245
N94 X57.
N95 G1 Z-10.355 F0.23
N96 X51.
N97 X49. Z-9.355
N98 G0 Z-0.245
N99 X63.
N100 G1 Z-10.355 F0.23
N101 X57.
N102 X55. Z-9.355
N103 G0 Z-0.245
N104 X68.7
N105 G1 Z-10.355 F0.23
N106 X63.
N107 X61. Z-9.355
N108 G0 Z-0.245
N109 X71.4
N110 G1 X74.4 F0.23
N111 Z-10.355

N112 X68.7	(Розточування торцевої канавки)
N113 X66.7 Z-9.355	N137 M1
N114 G0 X39.	N138 T500
N115 Z-0.245	N139 G99
N116 X0.	N140 M22
N117 Z5.	N141 G97 S146 M3
N118 G97 S4500 M3	N142 G54
	N143 M8
(Чистове розточування отвору)	N144 G0 X131. Z7.
N119 G0 X0. Z5.	N145 G50 S4500
N120 G50 S4500	N146 G96 S60 M3
N121 G96 S140 M3	N147 G0 X64.882
N122 G0 Z-1.131	N148 Z-0.452
N123 X72.172	N149 G1 Z-8.664 F12.
N124 G1 X75. Z-2.545 F12.	N150 X64.49 Z-10.655
N125 Z-10.655 F0.05	N151 X65. Z-10.909 F0.07
N126 X47.699	N152 X62.6
N127 X44.362 Z-12.324	N153 Z-11.124
N128 Z-22.69	N154 X66.063 Z-12.855
N129 X44.613 Z-24.125	N155 X67.
N130 Z-24.425 F12.	N156 Z-2.545
N131 X40.659	N157 Z-0.545 F12.
N132 G0 X0.	N158 G0 Z7.
N133 Z5.	N159 X131.
N134 G97 S4500 M3	N160 G97 S146 M3
N135 M9	N161 G97 S4500 M3
N136 G53 X0.	N162 M9
	N163 G53 X0.

(Підрізання торця)

N164 M1

N165 T300

N166 G99

N167 G97 P307 M143

N168 G54

N169 M8

N170 G0 X145. Z5.

N171 G50 S4500

N172 G96 P140 M143

N173 G0 Z-0.031

N174 X125.

N175 G1 X117.828 F12.

N176 X115. Z-1.445

N177 X40.4 F0.23

N178 X43.228 Z-0.031 F12.

N179 G0 X125.

N180 Z-0.331

N181 G1 X117.828 F12.

N182 X115. Z-1.745

N183 X40.4 F0.05

N184 X43.228 Z-0.331 F12.

N185 G0 X145.

N186 Z5.

N187 G97 P307 M143

(Чорнове точіння профілю)

N188 G0 X135. Z5.

N189 G50 S4500

N190 G96 P140 M143

N191 G0 Z-0.245

N192 X112.

N193 G1 Z-23.93 F0.23

N194 X118.

N195 G0 Z-0.245

N196 X106.

N197 G1 Z-10.709 F0.23

N198 X110.188 Z-23.93

N199 X112.

N200 X114. Z-22.93

N201 G0 Z-0.245

N202 X100.

N203 G1 Z-7.91 F0.23

N204 X104.719 Z-9.273

N205 G18 G3 X105.792 Z-10.053 I-0.55 K-0.953

N206 G1 X106. Z-10.709

N207 X108. Z-9.709

N208 X108.34 Z-9.54 F12.1557

N209 G0 Z-0.245

N210 X94.

N211 G1 Z-6.178 F0.23

N212 X100. Z-7.91

N213 X102. Z-6.91

N214 G0 Z-0.245

N215 X88.

N216 G1 Z-4.446 F0.23	N242 X109.58 Z-23.93
N217 X94. Z-6.178	N243 X112.816 Z-25.105 F12.
N218 X96. Z-5.178	N244 X112.818
N219 G0 Z-0.245	N245 G0 X135.
N220 X83.507	N246 Z5.
N221 G1 Z-3.149 F0.23	N247 G97 P330 M143
N222 X88. Z-4.446	N248 M9
N223 X90. Z-3.446	N249 G53 X0.
N224 G0 Z-0.245	
N225 X79.014	(Точіння фаски)
N226 G1 Z-1.852 F0.23	N250 M1
N227 X83.507 Z-3.149	N251 T400
N228 X85.507 Z-2.149	N252 G99
N229 G0 X118.	N253 G97 P4500 M143
N230 Z-0.245	N254 G54
N231 X135.	N255 M8
N232 Z5.	N256 G0 X0. Z5.
N233 G97 P330 M143	N257 G50 S4500
	N258 G96 P140 M143
(Чистове точіння профілю)	N259 G0 Z-0.995
N234 G0 X135. Z5.	N260 X40.5
N235 G50 S4500	N261 Z-1.062
N236 G96 P140 M143	N262 X45.565
N237 G0 Z0.08	N263 G1 Z-3.012 F0.23
N238 X80.106	N264 X44.419 Z-3.585
N239 G1 X76.779 F12.	N265 X42.419 Z-2.585
N240 X77.814 Z-1.852	N266 G0 Z-0.995
N241 X105.08 Z-9.723 F0.05	N267 X46.131

N268 G1 X47.631 F0.23

N269 Z-1.979

N270 X45.565 Z-3.012

N271 X43.565 Z-2.012

N272 G0 X40.5

N273 Z-0.995

N274 X0.

N275 Z5.

N276 G97 P4500 M143

N277 M9

N278 M33

N279 G53 X0.

N280 G53 Z0.

N281 M30

%

Поновлення працездатності різального інструменту

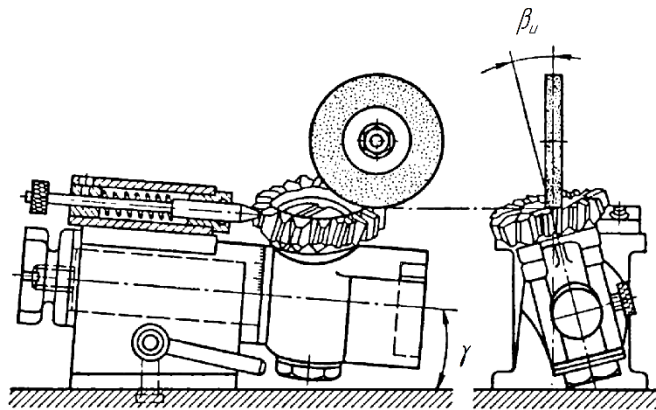
Розрахункова стійкість інструменту визначається за формулою:

$$T = \frac{m^{0.3} \cdot Z_1^{1.65}}{4.06 \cdot a_0^{0.73} \cdot V^{0.11} \cdot \gamma^{0.32} \cdot s^{0.85} \cdot t^{0.84} \cdot Z_0^{0.30}}$$

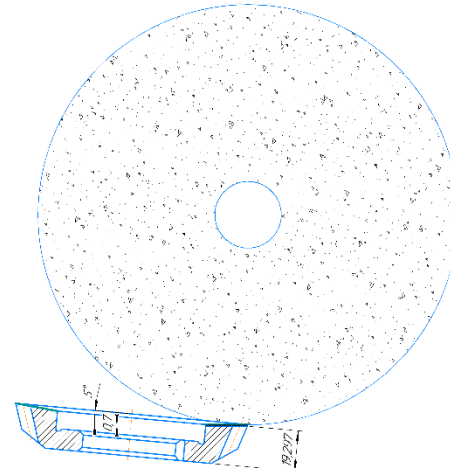
Для заданих режимів різання ($v=30.2$ м/хв, $s=0.35$ мм/од, $t=1.9$ мм)
стійкість інструменту становить: $T=269,5$ хв.

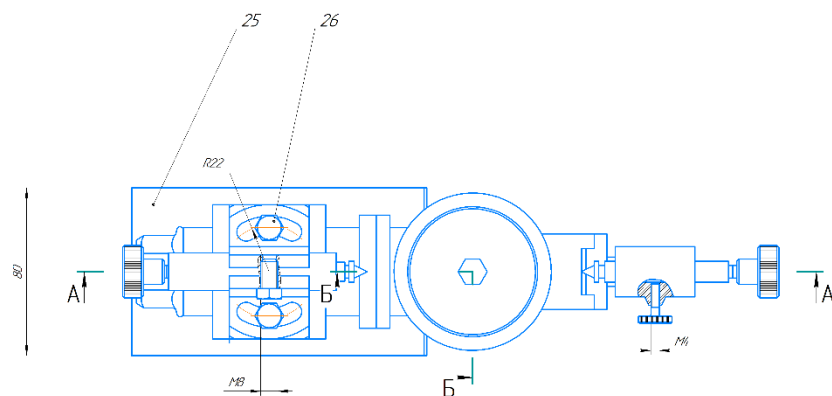
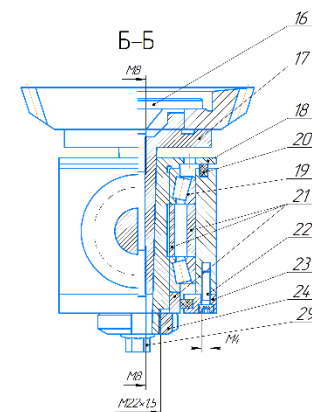
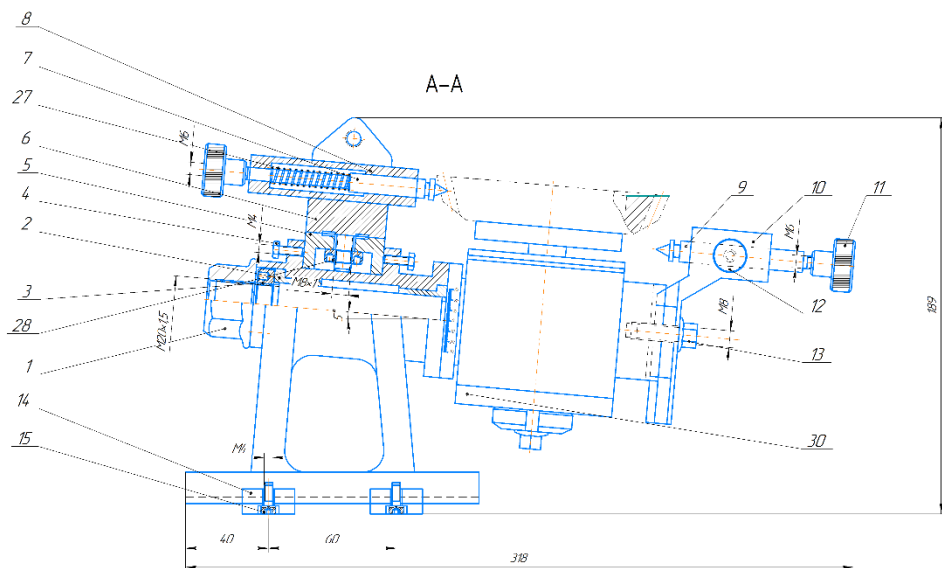
Після того як інструмент пропрацює визначений час, його необхідно переточити.
Переточка виконується по передній поверхні, припуск на переточування 0,7 мм.
При переточці інструмент встановлюється в пристосування для заточування
та повертається на кут нахилу зуба β_u .

Схема поновлення працездатності
різального інструменту



Зміна розмірів інструменту після переточування





- 1 Невдихайки сили зитиску 28,8 кН
- 2 ШІТУ ISO 2768 mk
- 3 Різний спосіб встановлення зоготовки в пристосування

					ДП МІ-п7104. 04.000 ТК				
					Пристосування для замінування				
					перехресний паливний				
					моторний відбійник				
					Вартість		Вартість		11
					Вартість		Вартість		
					зр. МІ-п71				
					Контрагент				
					Відомості АІ				

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						<u>Детали</u>		
				2		Втулки стійки	2	
				5		Салазки	1	
				6		Поворотна вісь	1	
				7		Фіксатор впадини зуба	1	
				9		Наконечник для вершини зуба	1	
				10		Кронштейн	1	
				16		Затискний болт	1	
				18		Шпindel	1	
				17		Оправка	1	
				21		Дистанційні втулки	3	
				30		Головка шпинделя	1	
				25		Стійка	1	
				8		Гільза фіксатора впадини зуба	1	
				23		Кришка головки шпинделя	1	
Взам. инв. №		<u>Стандартные изделия</u>						
				26		Болт М8х1-6дх25 ГОСТ 7796-70	2	
				4		Болт М4-6дх12 ГОСТ 7805-70	2	
				12		Винт АМ4х16 ГОСТ 21332-75	1	
				28		Гайка М8-6Н ГОСТ 6393-73	2	
				3		Гайка М20-6Н ГОСТ 6393-73	1	
				24		Гайка М22х15-6Н ГОСТ 11871-88	1	
Инв. № подл.		Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристосування для заточування передньої поверхні косозубого довбача		
		Разраб.	Дубицький М.Е.					
		Проб.	Слободянюк І.В.					
		Н.контр.						
		Утв.						
		Лит.	Лист	Листов	зр. Мі-п71			
	1	2						

Копіював

Формат А4

Лист МІ-п7104. 03.000 ТК

Перед. примеч.

Стрелка №

Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Номер операции	Содержание операции	Обладания	Инструмент	В (мм)	l (мм)	s (мм/об.х)	V (м/хв)
075	Довдати шпонковий паз в розмір відповідно до креслення	Довбальний верстат ГД200	Довбальний різець 2184-0573 за ГОСТ 10046-72	14	3.8	0.3	6.8

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ.		Дубицкий М.Е.		
Проект.		Слободянюк Л.В.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

ДП МІ-п7104. 03.000 ТК

Довбальна

Лит. Масса Масштаб

Лист Листов 1

зр. МІ-п71

Копирован Формат А3

ДП МІ-п7104. 03.000 ТК

Перед. примеч.

Стрелка №

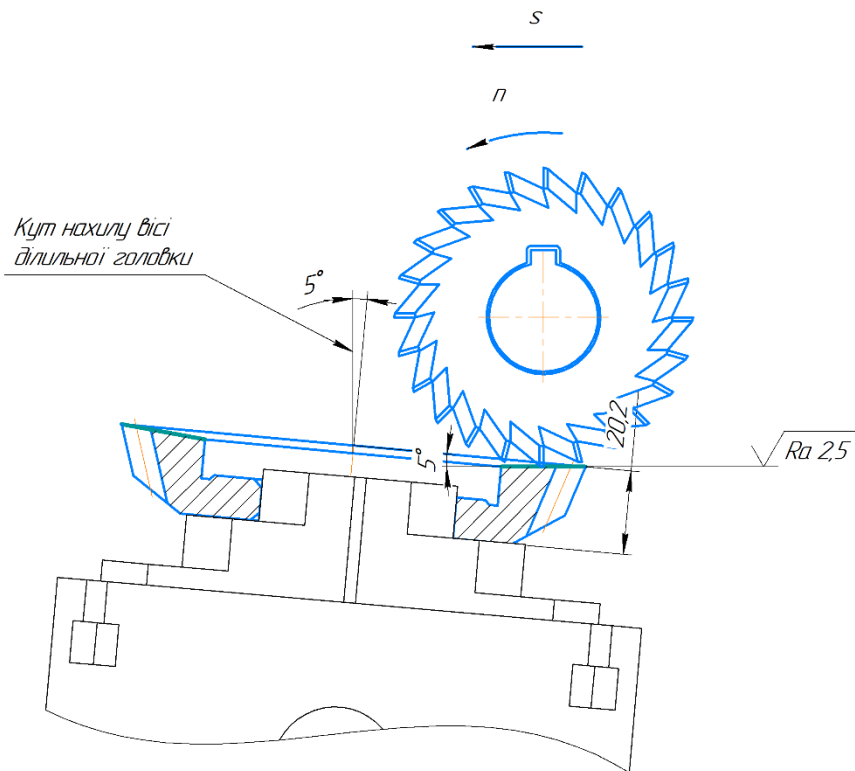
Подп. и дата

Инд. № док.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.



Номер операції	Зміст операції	Обладнання	Інструмент	B (мм)	D (мм)	t (мм)	V (м/хв)	n (об/хв)	s (мм/зуб)
025	Фрезерувати передню поверхню зубів діаметром 20,2 та кут 5°	Горизонтально фрезерний верстат 6Р82	Дискова несиметрична двохстороння фреза з кутом профілю 25° Р6М5	5	80	1	40,212	160	400
ДП МІ-п7104. 03.000 ТК									
Ізм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Фрезерна				
Розроб.	Дубицький М.Е.	Лист	Маса	Масштаб					
Проб.	Слободянюк І.В.	Лист	Маса	Масштаб					
Т.контр.		Лист	Маса	Масштаб					
Н.контр.		Лист	Маса	Масштаб					
Утв.		Лист	Маса	Масштаб	зр. МІ-п71				

Копіював

Формат А3

ДП МІ-п7104. 03.000 ТК

Перв. примеч.

Спроба №

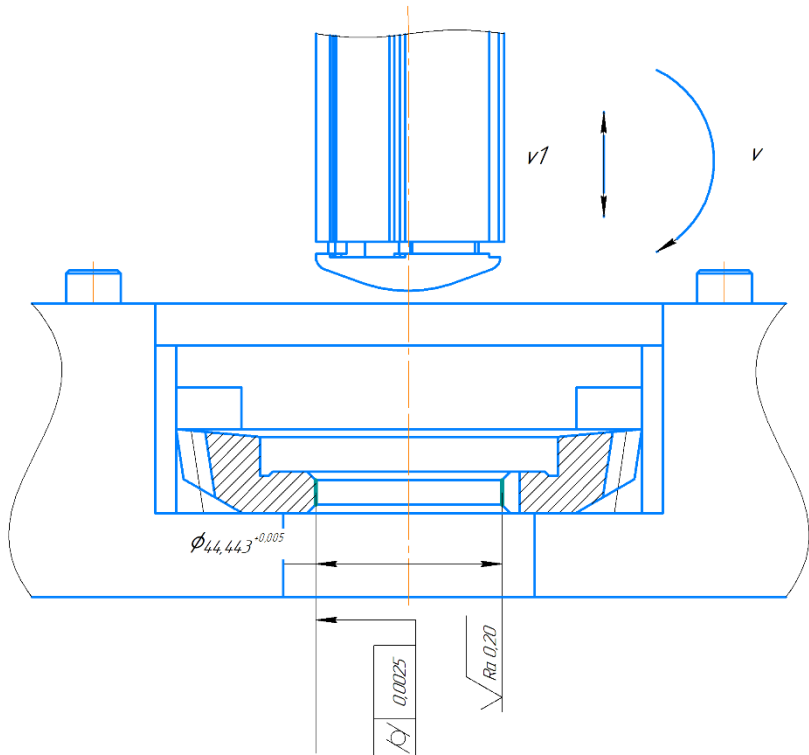
Підп. і дата

Інв. № змін

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № змін



Номер операції	Зміст операції	Обладнання	Інструмент	L (мм)	t (мм)	V (м/хв)	V1 (м/хв)	p, МПа
050	Хонінгувати отвір в розмір $\phi 44,443^{+0,005}$	Gehring Lifehone	Gehring серія TN/TS СТК	12	0,04	0,5	0,1	12
ДП МІ-п7104. 03.000 ТК								
Ізм. / Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Хонінгування		Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Дубицький М.Е.							1:1
Проб.	Слободянюк І.В.					Лист	Листів	1
Т.контр.						зр. МІ-п71		
Н.контр.								
Утв.								

Копіював

Формат А3

Дубл.																
Взам.																
Подл.																
Розроб.	Дубицьк ий М.Є.															
Перевір.	Слободя нюк І. В.															
Затв.				Косозубий довбач для зуботочіння												
Н.контр.																
Найменування операції				Матеріал				Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри			МЗ	КОВД
Довбальна				Р6М5												
Устаткування, пристрій ЧПУ				Позначення програми				То	Тд	Тпз	Тшт	СОЖ				
ГД 200																
Р					ІІ	D або B		L	t	i	S	n	v			
О 01	8. Встановити та закріпити заготовку															
Т 02	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80															
03	9. Довбати шпонковий паз в розмір відповідно до креслення															
04	Довбальний різець 2184-0573 за ГОСТ 10046-72, Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89.															
05	1				14		12		3.8	13	0.3		6.8			
06																
07																
08																
09																
10																
11																
12																
13																
ОК																

Дубл.																
Взам.																
Подл.																
Розроб.	Дубицьк ий М.Є.															
Перевір.	Слободя нюк І. В.															
Затв.				Косозубий довбач для зуботочіння												
Н.контр.																
Найменування операції				Матеріал				Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри			МЗ	КОВД
Фрезерна				Р6М5												
Устаткування, пристрій ЧПУ				Позначення програми				То	Тд	Тпз		Тшт	СОЖ			
6P82																
Р					III	D або B		L	t	i	Sxв	n	v			
О 01	1. Встановити та закріпити заготовку															
Т 02	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80, універсальна ділильна головка УДГ-200 ГОСТ 8615-89															
03	2. Фрезерувати передню поверхню зуба витримуючи розмір 20.2 та кут 5°															
04	Фреза двокутова несиметрична Ø80, z=22, Штангенциркуль ШЦ-1-250-0,1 мм, ГОСТ 166-89. Кутомір, ГОСТ 5378-8															
05	1 5 20 1 1 400 160 40.212															
06																
07																
08																
09																
10																
11																
12																
ОК																

Дубл.																			
Взам.																			
Подл.																			
Розроб.	Дубицьк ий М.Є.																		
Перевір.	Слободя нюк І. В.																		
Затв.				Косоzubий довбач для зуботочіння															
Н.контр.																			
Найменування операції				Матеріал				Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри				МЗ	КОВД		
Хонінгувальна				Р6М5															
Устаткування, пристрій ЧПУ				Позначення програми				То	Тд	Тпз	Тшт	СОЖ							
Gehring Lifhone																			
Р						III	D або B		L	t	i	Sxв	n	v					
О 01	1. Встановити, вивірити та закріпити заготовку																		
Т 02	Трикулачковий патрон ГОСТ 2675-80																		
03	2. Хонінгувати отвір в розмір відповідно до креслення																		
04	Хон Gehring серія TN/TS матеріал абразиву СТ1К, Нутромір SOLEX. Пробка пневматична. Кільце еталонне. індикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Штатив магнітний ШМ-ІІІ, ГОСТ 10197-70. Профілометр SurfcordeR SE500																		
05	1 44.443 12 0.04																		
06																			
07																			
08																			
09																			
10																			
11																			
12																			
ОК																			

Дубл.																
Взам.																
Подл.																
Розроб.	Дубицьк ий М.Є.															
Перевір.	Слободя нюк І. В.															
Затв.				Косоzubий довбач для зуботочіння												
Н.контр.																
Найменування операції				Матеріал				Твердість		ЕВ	МД	Профіль й розміри			МЗ	КОВД
Плоскошліфувальна				Р6М5												
Устаткування, пристрій ЧПУ				Позначення програми				То	Тд	Тпз		Тшт	СОЖ			
RT-60																
Р					III	D або B		L	t	i	Sxв	n	v			
О 01	1. Встановити, вивірити та закріпити заготовку															
Т 02	Комплект магнітних перехідників															
03	2. Шліфувати торець в розмір відповідно до креслення															
04	Круг 1A1 200 10 75 5 ЛКВ 160/125 СТ1 К 100%, ГОСТ 24747-90, Контрольна плита, кл. 1, ГОСТ 10905-75. індикатор ИГМ, тип I, ГОСТ 9696-61. Штатив магнітний ШМ-ІІН, ГОСТ 10197-70. Профілометр SurfcordeR SE500															
05	1 80 80 0.01 20 1															
06																
07																
08																
09																
10																
11																
12																
13																
OK																